

## **Agradecimentos**

Agradeço à Professora Doutora Paula Neto a simpatia, a gentileza e o cuidado da sua orientação, sem os quais não teria sido possível desenvolver o presente estudo.

Agradeço ao Professor Doutor Gilberto Pinto o empenho e orientação prestados sempre que solicitado.

Agradeço ao meu marido o apoio que me prestou ao longo do desenvolvimento deste trabalho, clareza intelectual e rigor com que debateu cada uma das questões e o optimismo com que enfrenta o dia-a-dia.

Agradeço á minha filha o incansável apoio e a alegria contagiante com que vive cada um dos seus dias.

Agradeço aos meus pais todo o conforto, apoio e ajuda que me deram, desde sempre.

Agradeço à minha mãe o facto de ter estado sempre presente.

Agradeço ao Eng.<sup>o</sup> Vitor Silva o apoio e a autonomia que me deu durante todo o trabalho.

Agradeço à Cabelte pela enorme generosidade e apoio desinteressado sem o qual o trabalho que tenho vindo a desenvolver não seria possível.

Quero dirigir um agradecimento aos meus amigos, em especial, à Iola Ferreira, Mário Santos, à Sandra Vieira e ao Joaquim Marques que estiveram sempre presentes apoiando-me.



## Resumo

Os objectivos principais deste estudo são a caracterização de uma das linhas de extrusão existentes na Cabelte, nomeadamente a linha de extrusão de referência EP5, composta por duas extrusoras. Pretende-se fazer a determinação de indicadores energéticos e de processo e a optimização do consumo energético, no que diz respeito à energia consumida e às perdas térmicas relativas a esta linha.

Para fazer a monitorização da linha de extrusão EP5 foi colocado no quadro geral dessa linha um equipamento central de medida de forma a ser possível a sua monitorização. No entanto, para a extrusora auxiliar as medições foram efectuadas com uma pinça amperimétrica e um fasímetro.

Foram também efectuados ensaios onde foi avaliada a quantidade de material transformada, para isso foi utilizado um equipamento de pesagem, doseador gravimétrico aplicado nas extrusoras.

As medições de temperatura para os cálculos das perdas térmicas da extrusora principal e para a caracterização dos materiais plásticos, foram efectuadas utilizando um termómetro digital.

Foram efectuados ensaios de débito às extrusoras auxiliar e principal e foi estudada a variação do factor de potência em função da rotação do fuso.

Na perspectiva do utilizador final a optimização para a utilização racional de energia está na redução de encargos da factura de energia eléctrica. Essa factura não depende só da quantidade mas também do modo temporal como se utiliza essa energia, principalmente a energia eléctrica, bastante dependente do período em que é consumida.

Uma metodologia diferente no planeamento da produção, contemplando o fabrico dos cabos com maior custo específico nas horas de menor custo energético, implicaria uma redução dos custos específicos de 18,7% para o horário de verão e de 20,4% para o horário de inverno.

Os materiais de revestimento utilizados (PE e PVC), influenciam directamente os custos energéticos, uma vez que o polietileno (PE) apresenta sempre valores de entalpia superiores (0,317 kWh/kg e 0,281 kWh/kg) e necessita de temperaturas de trabalho mais elevadas do que o policloreto de vinilo (PVC) (0,141 kWh/kg e 0,124 kWh/kg).

O consumo específico tendencialmente diminui à medida que aumenta a rotação do fuso, até se atingir o valor de rotação óptimo, a partir do qual esta tendência se inverte. O  $\cos\phi$  para as duas extrusoras em estudo, aumenta sempre com o aumento de rotação do fuso.

Este estudo permitiu avaliar as condições óptimas no processo de revestimento dos cabos, de forma a minimizarmos os consumos energéticos.

A redução de toda a espécie de desperdícios (sobre consumos, desperdício em purgas) é uma prioridade de gestão que alia também a eficácia à eficiência, e constitui uma ferramenta fundamental para assegurar o futuro da empresa.

O valor médio lido para o factor de potência (0,38) da linha EP5, valor extremamente baixo e que vem associado à energia reactiva, além do factor económico que lhe está inerente, condiciona futuras ampliações. A forma de se corrigir o factor de potência é instalando uma bateria de condensadores de 500 kVAr. Considerando o novo sistema tarifário aplicado à energia reactiva, vamos ter um ganho de 36167,4 Euro/ano e o período de retorno de investimento é de 0,37 ano (4,5 meses). Esta medida implica também uma redução anual na quantidade de CO<sub>2</sub> emitida de 6,5%.

A quantificação das perdas térmicas é importante, pois só desta forma se podem definir modos de actuação de forma a aumentar a eficiência energética.

Se não existir conhecimento profundo dos processos e metodologias correctas, não podem existir soluções eficientes, logo é importante medir antes de avançar com qualquer medida de gestão.

**Palavras-chave:** Linha de extrusão EP5, eficiência energética, energia reactiva, perdas térmicas, optimização.

## Abstract

The main objectives of this study are the characterization of one of the existing extrusion lines in Cabelte, namely the extrusion line designated EP5, composed by two extruders. It is intended to determine energetic and process indicators and the optimization of energy consumption, regarding consumed energy and thermal losses relative to the line.

In order to monitor EP5 extrusion line, a central measurement equipment was placed on the extrusion line's Service Panel. However, for the auxiliary extruder the measurements were made by an amperimetric clamp, and a Phasemeter.

Additional testings were also conducted where the quantity of transformed material was evaluated. For this purpose it was used a weighting equipment, gravimetric dispenser associated with both extruders.

Temperature measures for thermal losses calculations of the main extruder and for plastic materials characterization were made using a digital thermometer.

Debit testings were made to both extruders and power factor variation was studied according to screw rotation.

In the end user perspective, the optimization of rational use of energy verifies on the energy bill reduction. That bill not only depends on quantity but also how that energy is used through time, mainly electric energy, which is subordinate to the timeframe it is consumed.

A different methodology to production planning, contemplating production of cables with higher specific cost on time periods with diminished energy costs, would imply a specific cost reduction of 18,7% for summer period and of 20,4% for winter period.

The sheathing materials utilized (PE and PVC) directly influence the energetic costs, since Polyethylene (PE) always presents superior enthalpy values (0,317 kWh/kg and 0,281 kWh/kg) and needs higher work temperatures, than the Polyvinyl chloride (PVC) (0,141 kWh/kg and 0,124 kWh/kg).

Specific consumption tends to decrease as screw rotation increases until optimal rotation value is achieved, from which this tendency inverts. The  $\cos\phi$  value for both extruders always increases as screw rotation also increases.

This study has allowed to evaluate the optimal conditions for the cable sheathing process, in order to minimize energy consumption.

Reduction of all kinds of waste (overconsumption, purges waste) is a management priority that also allies effectiveness with efficiency, and constitutes a fundamental tool to ensure the future of the firm.

The average value for EP5's power factor (0,38) is extremely low and comes associated with reactive energy, besides the inherent economic factor, conditioning future expansions. The way to correct the power factor is to install a capacitor battery of 500 kVAr. Considering the new tariff system applied to reactive energy, we will have a 36167,4 €/year and the return

of investment period is 0,37 years (4,5 months). This step also implies an annual reduction of emitted CO<sub>2</sub> of 6,5 %.

Quantification of thermal losses is important, for only this way we can define methods to increase power efficiency.

If a deep knowledge of the correct processes and methodologies does not exist, then cannot exist efficient solutions, therefore it is important to measure before advancing to any management decision.

**Key-words:** EP5 Extrusion Line, energy efficiency, reactive energy, thermal losses, optimization.

## Índice

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vii
Índice.....	ix
Índice de figuras.....	xiii
Índice de tabelas.....	xv
Lista de abreviaturas.....	xxi
1. Introdução.....	1
1.1 Grupo Cabelte.....	1
1.2 Produção e Tecnologias limpas.....	4
1.3 Objectivos do trabalho.....	5
1.4 Organização da dissertação.....	6
2. Fundamentação teórica.....	7
2.1 A energia na Indústria.....	7
2.1.1 Enquadramento legislativo.....	7
2.1.2 Levantamento Energético.....	8
2.1.3 Formas de energia associadas.....	9
2.2 Descrição dos processos de fabrico para Produção de Cabos de Energia.....	10
2.2.1 Cabos de energia de média tensão.....	12
2.2.2 Cabos de energia de baixa tensão para aplicações industriais.....	14
2.3 Processo de extrusão.....	16
2.3.1 Linha de extrusão EP5.....	19
2.3.2 Materiais.....	23
2.4 Perdas eléctricas e perdas térmicas.....	24
2.4.1 Força motriz e perdas eléctricas em redes de distribuição.....	24
2.4.2 Perdas térmicas.....	31
3 Caracterização da situação actual - resultados.....	37

3.1 Avaliação da situação actual.....	37
3.1.1 Indicadores da Linha de extrusão EP5.....	37
3.1.2 Sobre consumo de material plástico.....	39
3.1.3 Desperdício em purgas.....	41
3.1.4 Indicador de velocidade.....	42
3.1.5 Caracterização dos materiais utilizados na extrusora principal.....	43
3.1.6 Extrusora auxiliar e principal.....	44
3.1.6.1 Variação do débito, do $\cos\varphi$ e da potência, em função da variação da rotação do fuso da extrusora auxiliar.....	45
3.1.6.2 Variação do débito, do $\cos\varphi$ e da potência, em função da variação da rotação do fuso da extrusora principal.....	47
3.1.7 Perdas térmicas da extrusora principal.....	49
3.1.8 Perdas por convecção e evaporação na caleira.....	49
4 Optimização.....	51
4.1 Análise e optimização dos indicadores energéticos e de processo obtidos .....	51
4.2 Análise de perdas e sugestões de melhoria .....	54
5 Avaliação final e sugestões para trabalhos futuros.....	59
Bibliografia.....	63
Anexos.....	65
Anexo A Ensaios.....	65
Anexo A 1 Ensaios efectuados ao cabo nº1.....	65
Anexo A 2 Ensaios efectuados ao cabo nº2.....	67
Anexo A 3 Ensaios efectuados ao cabo nº3.....	70
Anexo A 4 Ensaios efectuados ao cabo nº4.....	72
Anexo A 5 Ensaios efectuados ao cabo nº5.....	73
Anexo A 6 Ensaios efectuados ao cabo nº6.....	74
Anexo A 7 Ensaios efectuados ao cabo nº7.....	76
Anexo A 8 Ensaios efectuados ao cabo nº8.....	78
Anexo A 9 Ensaios efectuados ao cabo nº9.....	80



Anexo A 10 Ensaaios efectuados ao cabo nº10.....	81
Anexo A 11 Ensaaios efectuados ao cabo nº11.....	83
Anexo A 12 Ensaaios efectuados ao cabo nº12.....	85
Anexo A 13 Ensaaios efectuados ao cabo nº13.....	87
Anexo A 14 Ensaaios efectuados ao cabo nº14.....	91
Anexo A 15 Ensaaios efectuados ao cabo nº15.....	95
Anexo A 16 Ensaaios efectuados ao cabo nº16.....	98
Anexo A 17 Exemplo de cálculo.....	100
Anexo B Determinação de indicadores energéticos e de processo.....	101
Anexo B 1 Consumo específico.....	101
Anexo B 2 Custo específico.....	102
Anexo B 3 Indicador de sobre consumo.....	103
Anexo B 4 Indicador de purgas.....	104
Anexo B 5 Indicador de velocidade.....	105
Anexo B 6 Exemplo de cálculo.....	105
Anexo C Materiais.....	108
Anexo C 1 Variação do débito à medida que varia a temperatura do material fundido.....	108
Anexo C 2 Variação da entalpia (kWh/kg) em função da temperatura do material fundido (°C).....	109
Anexo D Caracterização da extrusora auxiliar da linha EP5.....	110
Anexo D 1 Ensaaios efectuados com os materiais MA e MB.....	110
Anexo E Caracterização da extrusora principal da linha EP5.....	112
Anexo E 1 Ensaaios efectuados com os materiais MC, MD e ME .....	112
Anexo F Perdas térmicas.....	114
Anexo F 1 Cálculo das perdas térmicas da extrusora principal da linha EP5.....	114
Anexo F 2 Potência fornecida para aquecimento da água que se encontra no depósito da linha EP5.....	117

Anexo F 3 Cálculo das perdas térmicas na caleira de água quente na linha EP5.....	118
Anexo F 4 Exemplo de cálculo.....	119
Anexo G Optimização.....	124
Anexo G 1 Energia consumida na linha EP5 .....	124
Anexo G 2 Optimização do custo específico .....	125
Anexo G 3 Perdas eléctricas .....	126
Anexo G 4 Exemplo de cálculo .....	127
Anexo H Fichas técnicas e orçamentos.....	133
Anexo H 1 Fichas técnicas.....	133
Anexo H 2 Orçamentos.....	134

## Índice de Figuras

Figura 1.1. Equilíbrio necessário entre o impacto ambiental provocado pela indústria e as políticas de responsabilidade social e ambiental .....	4
Figura 2.1 Representação percentual das várias formas de energia e custos de energia associados .....	9
Figura 2.2 Processo de extrusão de bainhas EP5 .....	11
Figura 2.3 Diagrama processual dos cabos de média tensão .....	13
Figura 2.4 Diagrama processual dos cabos industriais de baixa tensão .....	15
Figura 2.5 Extrusora de parafuso mono fuso.....	16
Figura 2.6 Fuso de extrusão .....	17
Figura 2.7 Transporte do material granulado ao longo do fuso .....	18
Figura 2.8 Linha de extrusão EP5 .....	19
Figura 2.9 Principais componentes da linha EP5.....	22
Figura 2.10 Diagrama fasorial da tensão e correntes .....	30
Figura 2.11 Instalação eléctrica com condensador.....	30
Figura 2.12 Extrusora principal da linha EP5 .....	32
Figura 2.13 Caleira de água quente da linha EP5 .....	35
Figura 2.14 Depósito de aquecimento de água que alimenta a caleira da EP5 .....	36
Figura 3.1 Consumo específico e custo específico para o processo de extrusão na linha EP5 .....	39
Figura 3.2 Indicador de sobre consumo .....	40
Figura 3.3 Indicador de desperdício em purgas .....	41
Figura 3.4 Indicador de velocidade .....	43
Figura 3.5 Variação da entalpia do material fundido em função da variação da temperatura, para diferentes materiais .....	44
Figura 3.6 Variação do débito em função da rotação do fuso da extrusora auxiliar .....	45
Figura 3.7 Variação do $\cos\phi$ em função da rotação do fuso da extrusora auxiliar .....	46
Figura 3.8 Variação da potência em função da rotação do fuso da extrusora auxiliar .....	46

Figura 3.9 Variação do débito em função da rotação do fuso da extrusora principal .....	47
Figura 3.10 Variação do $\cos\varphi$ em função da rotação do fuso da extrusora principal .....	48
Figura 3.11 Variação da potência em função da rotação do fuso da extrusora principal .....	48
Figura 3.12 Energia consumida para aquecimento da água .....	50
Figura 3.13 Perdas por convecção e evaporação na caleira da linha EP5.....	50
Figura 4.1 Variação do custo específico.....	51
Figura 4.2 Variação do consumo específico em função da rotação do fuso da extrusora principal .....	52
Figura 4.3 Variação do consumo específico em função da rotação do fuso da extrusora auxiliar .....	52
Figura 4.4 Perdas de energia das duas extrusoras e respectiva valorização anual .....	54

## Índice de Tabelas

Tabela 3.1 Ligação entre o número e a referência do cabo.....	38
Tabela 3.2 Perdas térmicas totais.....	49
Tabela 4.1 Dimensionamento da bateria de condensadores.....	55
Tabela 4.2 Perdas térmicas totais da extrusora principal.....	56
Tabela 4.3 Perdas térmicas totais da caleira .....	56
Tabela 4.4 Contabilização da energia anualmente fornecida para as diferentes condições de ensaio .....	57
Tabela A 1 Dados de fabrico (Cabo nº 1).....	65
Tabela A 2 Temperaturas da extrusora principal (Cabo nº 1).....	65
Tabela A 3 Registos de preparação (Cabo nº 1).....	66
Tabela A 4 Registos de fabrico (Cabo nº 1).....	66
Tabela A 5 Resultados obtidos (Cabo nº 1).....	66
Tabela A 6 Dados de fabrico (Cabo nº 2, Ensaio 1).....	67
Tabela A 7 Temperaturas da extrusora principal (Cabo nº 2, Ensaio 1).....	67
Tabela A 8 Registos de fabrico (Cabo nº 2, Ensaio 1).....	68
Tabela A 9 Resultados obtidos (Cabo nº 2, Ensaio 1).....	68
Tabela A 10 Dados de fabrico (Cabo nº 2, Ensaio 2).....	68
Tabela A 11 Temperaturas da extrusora principal (Cabo nº 2, Ensaio 2).....	69
Tabela A 12 Registos de fabrico (Cabo nº 2, Ensaio 2).....	69
Tabela A 13 Resultados obtidos (Cabo nº 2, Ensaio 2).....	69
Tabela A 14 Dados de fabrico (Cabo nº 3).....	70
Tabela A 15 Temperaturas da extrusora principal (Cabo nº 3).....	70
Tabela A 16 Registos de preparação (Cabo nº 3).....	71
Tabela A 17 Registos de fabrico (Cabo nº 3).....	71
Tabela A 18 Resultados obtidos (Cabo nº 3).....	71
Tabela A 19 Dados de fabrico (Cabo nº 4).....	72
Tabela A 20 Temperaturas da extrusora principal (Cabo nº 4).....	72

Tabela A 21 Registos de fabrico (Cabo nº 4).....	72
Tabela A 22 Resultados obtidos (Cabo nº 4).....	73
Tabela A 23 Dados de fabrico (Cabo nº 5).....	73
Tabela A 24 Temperaturas da extrusora principal (Cabo nº 5).....	73
Tabela A 25 Registos de fabrico (Cabo nº 5).....	74
Tabela A 26 Resultados obtidos (Cabo nº 5).....	74
Tabela A 27 Dados de fabrico (Cabo nº 6).....	75
Tabela A 28 Temperaturas da extrusora principal (Cabo nº 6).....	75
Tabela A 29 Registos de fabrico (Cabo nº 6).....	75
Tabela A 30 Resultados obtidos (Cabo nº 6).....	75
Tabela A 31 Dados de fabrico (Cabo nº 7).....	76
Tabela A 32 Temperaturas da extrusora principal (Cabo nº 7).....	76
Tabela A 33 Registos de preparação (Cabo nº 7).....	77
Tabela A 34 Registos de fabrico (Cabo nº 7).....	77
Tabela A 35 Resultados obtidos (Cabo nº 7).....	77
Tabela A 36 Dados de fabrico (Cabo nº 8).....	78
Tabela A 37 Temperaturas da extrusora principal (Cabo nº 8).....	78
Tabela A 38 Registos de preparação (Cabo nº 8).....	78
Tabela A 39 Registos de fabrico (Cabo nº 8).....	79
Tabela A 40 Resultados obtidos (Cabo nº 8).....	79
Tabela A 41 Dados de fabrico (Cabo nº 9).....	80
Tabela A 42 Temperaturas da extrusora auxiliar (Cabo nº 9).....	80
Tabela A 43 Temperaturas da extrusora principal (Cabo nº 9).....	80
Tabela A 44 Registos de fabrico (Cabo nº 9).....	81
Tabela A 45 Resultados obtidos (Cabo nº 9).....	81
Tabela A 46 Dados de fabrico (Cabo nº 10).....	82
Tabela A 47 Temperaturas da extrusora auxiliar (Cabo nº 10).....	82
Tabela A 48 Temperaturas da extrusora principal (Cabo nº 10).....	82

Tabela A 49 Registos de fabrico (Cabo nº 10).....	82
Tabela A 50 Resultados obtidos (Cabo nº 10).....	83
Tabela A 51 Dados de fabrico (Cabo nº 11).....	83
Tabela A 52 Temperaturas da extrusora auxiliar (Cabo nº 11).....	84
Tabela A 53 Temperaturas da extrusora principal (Cabo nº 11).....	84
Tabela A 54 Registos de fabrico (Cabo nº 11).....	84
Tabela A 55 Resultados obtidos (Cabo nº 11).....	85
Tabela A 56 Dados de fabrico (Cabo nº 12).....	85
Tabela A 57 Temperaturas da extrusora auxiliar (Cabo nº 12).....	86
Tabela A 58 Temperaturas da extrusora principal (Cabo nº 12).....	86
Tabela A 59 Registos de fabrico (Cabo nº 12).....	86
Tabela A 60 Resultados obtidos (Cabo nº 12).....	86
Tabela A 61 Dados de fabrico (Cabo nº 13, Ensaio 1).....	87
Tabela A 62 Temperaturas da extrusora auxiliar (Cabo nº 13, Ensaio 1).....	87
Tabela A 63 Temperaturas da extrusora principal (Cabo nº 13, Ensaio 1).....	88
Tabela A 64 Registos de fabrico (Cabo nº 13, Ensaio 1).....	88
Tabela A 65 Resultados obtidos (Cabo nº 13, Ensaio 1).....	88
Tabela A 66 Dados de fabrico (Cabo nº 13, Ensaio 2).....	89
Tabela A 67 Temperaturas da extrusora auxiliar (Cabo nº 13, Ensaio 2).....	89
Tabela A 68 Temperaturas da extrusora principal (Cabo nº 13, Ensaio 2).....	89
Tabela A 69 Registos de fabrico (Cabo nº 13, Ensaio 2).....	90
Tabela A 70 Resultados obtidos (Cabo nº 13, Ensaio 2).....	90
Tabela A 71 Dados de fabrico (Cabo nº 14, Ensaio 1).....	91
Tabela A 72 Temperaturas da extrusora auxiliar (Cabo nº 14, Ensaio 1).....	91
Tabela A 73 Temperaturas da extrusora principal (Cabo nº 14, Ensaio 1).....	91
Tabela A 74 Registos de preparação (Cabo nº 14, Ensaio 1).....	92
Tabela A 75 Registos de fabrico (Cabo nº 14, Ensaio 1).....	92
Tabela A 76 Resultados obtidos (Cabo nº 14, Ensaio 1).....	93

Tabela A 77 Dados de fabrico (Cabo nº 14, Ensaio 2).....	93
Tabela A 78 Temperaturas da extrusora auxiliar (Cabo nº 14, Ensaio 2).....	94
Tabela A 79 Temperaturas da extrusora principal (Cabo nº 14, Ensaio 2).....	94
Tabela A 80 Registos de fabrico (Cabo nº 14, Ensaio 2).....	94
Tabela A 81 Resultados obtidos (Cabo nº 14, Ensaio 2).....	95
Tabela A 82 Dados de fabrico (Cabo nº 15).....	95
Tabela A 83 Temperaturas da extrusora auxiliar (Cabo nº 15).....	96
Tabela A 84 Temperaturas da extrusora principal (Cabo nº 15).....	96
Tabela A 85 Registos de preparação (Cabo nº 15).....	96
Tabela A 86 Registos de fabrico (Cabo nº 15).....	97
Tabela A 87 Resultados obtidos (Cabo nº 15).....	97
Tabela A 88 Dados de fabrico (Cabo nº 16).....	98
Tabela A 89 Temperaturas da extrusora auxiliar (Cabo nº 16).....	98
Tabela A 90 Temperaturas da extrusora principal (Cabo nº 16).....	98
Tabela A 91 Registos de fabrico (Cabo nº 16).....	99
Tabela A 92 Resultados obtidos (Cabo nº 16).....	99
Tabela B 1 Consumo específico (kgep/ton).....	101
Tabela B 2 Custo específico (Eur/ton).....	102
Tabela B 3 Indicador de sobreconsumos.....	103
Tabela B 4 Indicador de purgas.....	104
Tabela B 5 Indicador de velocidade.....	105
Tabela C 1 Ensaio com o PVC ICI.....	108
Tabela C 2 Ensaio com o PVC I2000.....	108
Tabela C 3 Ensaio com o PE C-240 UV.....	108
Tabela C 4 Ensaio com o material mistura 80% PE C-240 UV + 20% LDPE.....	109
Tabela C 5 Variação da entalpia do material fundido.....	109
Tabela D 1 Temperaturas da extrusora auxiliar (MA e MB).....	110



Tabela D 2 Variação do débito, do $\cos\phi$ e da potência em função da variação da rotação do fuso (MA e MB).....	110
Tabela E 1 Temperaturas da extrusora principal (MC, MD e ME).....	112
Tabela E 2 Variação do débito, do $\cos\phi$ e da potência em função da variação da rotação do fuso (MC, MD e ME).....	113
Tabela F 1 Dados técnicos da extrusora principal.....	114
Tabela F 2 Temperatura do interior da resistência – T1.....	115
Tabela F 3 Temperatura do exterior da resistência – T2.....	115
Tabela F 4 Temperatura do exterior da blindagem – T3.....	115
Tabela F 5 Propriedades físicas do ar a 311,1 K.....	116
Tabela F 6 Cálculo das perdas por convecção natural sobre uma placa vertical e horizontal.....	116
Tabela F 7 Cálculo das perdas por radiação.....	116
Tabela F 8 Perdas totais.....	117
Tabela F 9 Dimensões do depósito de água.....	117
Tabela F 10 Dados técnicos do depósito de água, com uma potência instalada de 11,27 kW.....	118
Tabela F 11 Dimensões da caleira.....	118
Tabela F 12 Propriedades físicas do ar a várias temperaturas do filme.....	119
Tabela F 13 Cálculo das perdas por convecção natural nas três condições de ensaio .....	119
Tabela F 14 Cálculo das perdas por evaporação nas três condições de ensaio.....	119
Tabela G 1 Componentes da linha EP5 e respectiva potência.....	124
Tabela G 2 Consumo total da unidade Cabelte.....	125
Tabela G 3 Consumo da linha EP5.....	125
Tabela G 4 Custo específico dos cabos 1, 14, 15 e 16.....	125
Tabela G 5 Perdas dos condutores por Efeito Joule.....	126
Tabela G 6 Determinações do factor de carga.....	127



## Lista de abreviaturas

### Siglas

BT – Baixa tensão

CIE - Consumidora intensiva de energia

GEE - Emissões de gases com efeito de estufa

LDPE – Polietileno linear de baixa densidade

MT – Média tensão

OF - Ordem de fabrico

PE – Polietileno

PREn - Plano de racionalização dos consumos de energia

PT – Posto de transformação

PVC – Policloreto de vinilo

ROG – Rendimento operacional global

SGCIE - Sistema de gestão dos consumos intensivos de energia

URE - Utilização racional da energia

VAB - Valor acrescentado bruto

### Nomenclatura

Variável	Descrição	Unidades
A	Área da secção transversal	m <sup>2</sup>
c	Constante tabelada depende da geometria e do produto $Gr_L \cdot Pr$	
cosφ	Co-seno entre as componentes fundamentais da tensão e da corrente	
dT	Variação infinitesimal de temperatura	K ou °C
dx	Variação infinitesimal da espessura	m
FC	Factor de carga	
FP	Factor de potência	
g	Aceleração da gravidade	m <sup>2</sup> /s
Gr <sub>L</sub>	Número de Grashof	
h <sub>m</sub>	Coeficiente de transferência de calor	W/m <sup>2</sup> K
I	Intensidade da corrente	A

$k$	Condutividade térmica	W/m K
$l$	Comprimento do condutor	m
$L$	Dimensão característica	m
$m_c$	Quantidade consumida	kg
$m_p$	Quantidade prevista	kg
$m_{pu}$	Quantidade de purgas	kg
$n$	Constante tabelada depende da geometria e do produto $Gr_L * Pr$	
$\eta$	Rendimento	%
$Nu_m$	Número de Nusselt	
$P$	Potência activa	W
$P_1$	Potência activa inicial	W
$P_2$	Potência activa final	W
$P_n$	Potência nominal da chapa característica de um motor	W
$P_p$	Perdas eléctricas activas	W
$Pr$	Número de Prandtl	
$Q$	Potência reactiva	VAr
$Q_1$	Potência reactiva inicial	VAr
$Q_2$	Potência reactiva final	VAr
$Q_c$	Potência reactiva de uma bateria de condensadores	VAr
$q_{conv}$	Calor por convecção	W
$q_{rad}$	Calor por radiação	W
$q_x$	Taxa de transferência de calor	W
$R$	Resistência eléctrica por fase	$\Omega$
$R_{eq}$	Resistência equivalente da rede	$\Omega$
$S$	Potência aparente	VA
$s$	Secção do material condutor	mm <sup>2</sup>
$\sin\phi$	Seno entre as componentes fundamentais da tensão e da corrente	
$T_\infty$	Temperatura do ar ambiente	K ou °C
$T_o$	Taxa de ocupação	%
$T_Q$	Taxa de qualidade	%
$T_v$	Taxa de velocidade	%
$T_w$	Temperatura da superfície da parede	K
$U$	Tensão entre fases	V
$V_p$	Velocidade prevista	m / min

$V_r$	Velocidade real	m / min
-------	-----------------	---------

### Letras gregas

$\varepsilon_f$	Emissividade do ferro	
$\Delta T$	Variação da temperatura	K ou °C
$\sigma$	Constante de Stefan-Boltzamm	$\frac{W}{m^2 K^4}$
$\beta$	Coeficiente de dilatação	$\frac{1}{K}$
$\rho$	Resistividade do material condutor	$\frac{\Omega * mm^2}{m}$
$\vartheta$	Viscosidade cinemática do ar nas condições de trabalho	$m^2 / s$



## 1 Introdução

Por força dos mercados extremamente competitivos e globais as empresas precisam cada vez mais de melhorar os seus resultados operacionais e inovar nos processos e nos produtos.

As fórmulas para a sustentabilidade do negócio são conhecidas por todos os gestores, engenheiros e restante comunidade produtiva: rigoroso controlo de custos, procura exaustiva de desperdícios, altos ritmos de produção, excelência na formação dos seus quadros e sempre que possível a realização de investimentos cirúrgicos que promovam a qualidade, a produtividade e a inovação.

A redução de toda a espécie de desperdícios é uma prioridade de gestão que alia também a eficácia à eficiência, e constitui uma ferramenta fundamental para assegurar o futuro da empresa.

Proponho aos gestores de hoje o exercício diário de procurarem a racionalização do consumo energético das suas unidades funcionais e garanto que encontrarão com relativa facilidade muitas oportunidades de melhoria.

### 1.1 Grupo Cabelte

Destacadamente líder nacional e um dos mais importantes ao nível europeu, o Grupo Cabelte posiciona-se hoje no desenvolvimento e concepção de sistemas e soluções nas áreas de energia e telecomunicações, focalizando a sua actividade na produção de cabos de energia de baixa, média e alta tensão, cabos de telecomunicações de fibra óptica e de cobre, fios automóveis, cabos de alimentação. Com cerca de 800 colaboradores, contando com 3 unidades industriais no espaço ibérico e várias subsidiárias na Europa e em África de forma a potencializar a sua internacionalização, o Grupo Cabelte continua o seu esforço sustentado de investimento, melhoria da rentabilidade interna e capacidade de resposta às exigências dos mercados nacional e internacional.

Disponibilizar produtos de alta qualidade, desenvolver soluções rentáveis e sistemas de cablagem integrados, são alguns dos aspectos chave responsáveis pela sua história de sucesso.

O Grupo Cabelte é constituído por um conjunto de empresas industriais – Cabelte (Arcozelo – V.N.Gaia), Cabelauto (Famalicão), Cabelte Incasa (Pamplona – Espanha) que se afirmaram como líderes no desenvolvimento tecnológico no domínio do fabrico de cabos eléctricos e de telecomunicações, fios para a indústria automóvel, fibras ópticas e cabos de alimentação.

Completando a vasta gama de serviços existente, bem como a experiência adquirida ao longo dos anos, o Grupo centra uma área de negócio com uma abordagem serviço chave na

## 1. Introdução

---

mão, associada à Direcção de Projectos Especiais, no desenho de soluções customizadas relacionadas com produtos de elevado valor acrescentado, que permite uma progressiva abrangência em termos de campo de actuação, procurando oferecer um maior valor ao cliente final.

Assumindo a sua preocupação com o ambiente, o Grupo constituiu uma unidade de tratamento de resíduos industriais, a Cabelte Recycling, que permite reintroduzir no ciclo produtivo os desperdícios gerados no processo de fabrico das empresas participadas.

Promovendo uma maior verticalização e aumentando o valor acrescentado interno, foi criada a Cabelte Metals, unidade responsável pelo fabrico das principais matérias-primas metálicas utilizadas pelo Grupo.

A suportar esta estrutura industrial existem unidades de prestação de serviços agregadas na Conexus.

A Win Brain presta serviços na área das Tecnologias de Informação e Comunicação, tendo sido constituída a partir da autonomização da Direcção de Informática da Cabelte.

A representação comercial do Grupo nos mercados da Europa Central é assegurada pela Cabelte Nederland. Com semelhante missão, mas direccionada para a África de Expressão Portuguesa criou-se a Cabelte Angola e a Cabelte Moçambique.

A lista de mercados onde opera vão desde a Península Ibérica, França, Suécia, Suíça, Alemanha, Venezuela, Líbia, Argélia, Marrocos, Moçambique, Angola e Venezuela.

### **Visão**

Consolidar a posição do Grupo como um dos maiores produtores Europeus, constituindo-se como um Centro de Excelência em mercados exigentes, fornecendo produtos e sistemas de maior valor acrescentado.

### **Missão**

Conceber, produzir e comercializar produtos e sistemas de excelência, indo ao encontro das expectativas e anseios dos clientes, incentivando laços de confiança e forte relacionamento:

- Mantendo a aposta do Grupo no investimento nas actividades de investigação e desenvolvimento que garantem a sua liderança nos mercados onde está presente;
- Assumindo a justa retribuição dos Accionistas, através da melhoria constante da performance do Grupo;
- No cumprimento rigoroso dos compromissos financeiros e sociais assumidos com os parceiros de negócio e com a comunidade;
- Partilhando o sucesso do Grupo com os colaboradores, zelando pelo seu bem-estar pessoal e profissional.



### **Competências**

As competências do Grupo Cabelte passam pelo desenvolvimento, produção, comercialização e instalação de:

- Cabos de Energia;
- Cabos de Telecomunicações;
- Cabos para Aplicações Especiais;
- Cabos para a Indústria Automóvel;
- Cabos de Alimentação;
- Fibra Óptica;
- Acessórios para Cabos;
- Soluções Chave na Mão;
- Serviços de Fusões e Terminações Ópticas;
- Tecnologias de Informação e Comunicação.

As competências tradicionais do Grupo Cabelte reflectem a vocação industrial das empresas do Grupo no fabrico de cabos eléctricos.

Todavia, ao longo dos anos, a relação de proximidade com os seus clientes, procurando responder às necessidades destes, conduziu ao surgimento de novas competências, agregando valor aos seus produtos tradicionais e, conseqüentemente, criando novas gamas.

Também, dentro desse espírito, o Grupo expandiu a sua actividade para áreas de Sistemas e Serviços, permitindo a oferta de projectos chave na mão a diversos sectores, com destaque para os da Energia e das Telecomunicações. A criação da Direcção de Projectos Especiais veio reforçar o empenhamento do Grupo no desenvolvimento de soluções integradas, com elevado grau de “costumização” para clientes e projectos específicos.

Recentemente, o Grupo passou a disponibilizar soluções de software aplicacional, no domínio das Tecnologias de Informação.

### **Mercados**

O Grupo Cabelte preocupado em responder às necessidades de cada cliente, disponibiliza uma vasta gama de produtos e soluções adaptados a aplicações específicas. O fornecimento de produtos e serviços constitui um dos seus principais factores de diferenciação.

Os sectores que mais se destacam como clientes do Grupo, a nível nacional e internacional, são:

## 1. Introdução

---

- Energia;
- Telecomunicações;
- Transportes;
- Edifícios e infra-estruturas;
- Indústria automóvel;
- Gás, Petrolífera e Petroquímica;
- Indústria de equipamento eléctrico e electrónico (Grupo Cabelte, 2008).

### 1.2 Produção e tecnologias limpas

Actualmente ainda existem empresários que encaram as questões ambientais como restritivas às suas relações comerciais e a pressões públicas exercidas contra os interesses das suas empresas. Todavia, produtos e processos de produção, com maior responsabilidade ambiental e social, constituem parte das novas estratégias competitivas utilizadas por empresas vencedoras, para interligar as questões ambientais às decisões de negócios.

Convém realçar que Produção Limpa representa o modelo de excelência, pelos critérios e princípios propostos.

O princípio da prevenção da poluição determina que a produção de resíduos seja evitada ou minimizada na fonte, a partir da análise e reestruturação do processo e produto, da aplicação de técnicas de reutilização, reciclagem e reaproveitamento adequadas dos resíduos. A responsabilidade da gestão do ciclo de vida dos produtos, desde a produção, distribuição, utilização e fim de vida, cabe ao poluidor e não à sociedade.



**Figura 1.1 Equilíbrio necessário entre o impacto ambiental provocado pela indústria e as políticas de responsabilidade social e ambiental.**

O ponto fulcral do Ecodesign é projectar locais, produtos e serviços que, de alguma forma, reduzam o uso de recursos não renováveis, estimulem a poupança de água e energia, a redução das emissões de gases de efeito estufa, minimizando o impacto ambiental, com a implementação de medidas que fomentam um desenvolvimento

sustentável, satisfazendo as necessidades actuais, mantendo a qualidade de vida, sem comprometer as gerações vindouras.

Este novo conceito, potencia a separação, reutilização e reciclagem de materiais considerados resíduos na produção de novos objectos com diversas aplicações, na escolha e selecção de materiais menos poluentes, na produção de bens materiais com maior durabilidade, que satisfaçam as necessidades reais em vez das necessidades apelativas e efémeras ditadas pelo mercado e mundo da moda, na utilização de processos com melhor eficiência energética, utilizando energias renováveis em detrimento dos combustíveis fósseis, reduzindo desta forma a pegada ecológica.

Nos últimos 50 anos, partindo do melhor conhecimento da cadeia de geração de resíduos, as políticas de controlo da poluição evoluíram dos métodos conhecidos como de “fim de tubo”, ou seja, acções que ajudam a diminuir o impacto ambiental de determinados resíduos, ao trata-los adequadamente, para as tendências mais recentes, baseadas no princípio de prevenção, que modificou a abordagem convencional de “O que fazer com os resíduos?” para “O que fazer para não gerar resíduos?”.

Sobre este último princípio fundamenta-se a Produção mais Limpa.

Alguns peritos afirmam que para atingir a sustentabilidade nas próximas décadas, era necessário inverter radicalmente os padrões de consumo e poluição das sociedades industrializadas, o que não deixa de ser uma visão utópica, pois teria de haver uma redução de cerca de 90% do consumo actual.

Apesar dos grandes avanços tecnológicos ocorridos nas últimas décadas, atingir a sustentabilidade exige profundas alterações no nosso estilo de vida e muita criatividade para resolvermos os problemas ambientais.

Esta nova abordagem sobre a questão dos resíduos levou a uma mudança de paradigma. O resíduo, que antes era visto apenas como um problema a ser resolvido, passou a ser encarado também como uma oportunidade de melhoria.

Isto só foi possível após a percepção de que o resíduo não era inerente ao processo mas, pelo contrário, era um claro indicativo da ineficiência deste.

Portanto, é a identificação e análise do resíduo que dará início à actividade de avaliação de Produção mais Limpa (Boletim Fundação Vanzolini, 2000).

### 1.3 Objectivos do trabalho

Com este estudo pretende-se fornecer elementos que possibilitem um conhecimento mais profundo do processo industrial, através da monitorização constante dos processos, visando o desenvolvimento de um sistema ecoeficiente, com a geração de indicadores energéticos e de processo.

O objectivo principal deste estudo é então a caracterização de uma das linhas de extrusão existentes na Cabelte, nomeadamente a linha de extrusão de referência EP5. Pretende-se fazer a determinação de indicadores energéticos e de processo e a optimização do consumo energético, no que diz respeito à energia consumida e às perdas térmicas relativas a esta linha.

### **1.4 Organização da dissertação**

No capítulo 1 são apresentados os objectivos deste estudo, é apresentada a empresa Cabelte, local onde vai decorrer o estudo proposto e é explicada a importância da aplicação das tecnologias limpas na produção.

No capítulo 2 são apresentados todos os fundamentos teóricos que serviram de suporte a este estudo e os diagramas processuais.

No capítulo 3 é apresentada a metodologia utilizada no trabalho experimental e são apresentados os indicadores actuais a nível energético, de desperdício em purgas, de sobre consumos, de velocidade. São também calculadas as perdas térmicas da extrusora principal da linha EP5 e é analisado o sistema de aquecimento de água.

No capítulo 4 são apresentadas as soluções de optimização da linha a nível energético, térmico e de funcionamento.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões mais relevantes do trabalho efectuado, e são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros.

## 2 Fundamentação teórica

Neste capítulo são apresentados os diagramas processuais, bem como todos os fundamentos teóricos que serviram de suporte a este estudo.

### 2.1 A energia na Indústria

A gestão de energia é um factor determinante na indústria em geral. As actuais exigências de mercado têm vindo a transformar o consumo e o custo de energia num factor chave de sucesso para as empresas nacionais.

Sendo a gestão de energia também um imperativo nacional, foi criado o Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de energia (SGCIE).

O SGCIE é aplicável a toda e qualquer instalação Consumidora Intensiva de Energia (CIE) que no ano civil imediatamente anterior tenham tido um consumo energético superior a 500 toneladas equivalentes de petróleo (500 tep/ano).

Neste contexto, as empresas devem efectuar um levantamento energético às suas instalações para, numa primeira fase, verificarem se são empresas consumidoras intensivas de energia e se estão abrangidas pelo SGCIE (ADENE - Agência para a Energia, 2011).

#### 2.1.1 Enquadramento legislativo

As empresas abrangidas pelo SGCIE são obrigadas a efectuar um exame detalhado às condições de utilização de energia, através de uma Auditoria Energética.

Segundo o Decreto-Lei nº 71/2008, DR. nº 74, I Série de 15 de Abril (SGCIE – Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia), o *Plano de Racionalização do Consumo de Energia* (PREn) é elaborado com base nos relatórios das auditorias energéticas obrigatórias, devendo prever a implementação nos primeiros 3 anos de todas as medidas (URE) identificadas com um período de retorno do investimento inferior ou igual a:

- Cinco anos, no caso das instalações com consumo energia igual ou superior a 1000 tep/ano, ou;
- Três anos no caso das restantes instalações (superior a 500 tep/ano e inferior a 1000 tep/ano).

No caso da empresa em estudo é a situação verificada em 1, visto que tem um consumo superior a 1000 tep/ano.

O PREn deve ainda estabelecer metas relativas à intensidade energética e carbónica e ao consumo específico de energia com base nas medidas de URE, tendo em conta os seguintes indicadores:

- a) Intensidade energética (kgep/Euro) – quociente entre o consumo total de energia e o valor acrescentado bruto (VAB) das actividades empresariais directamente ligadas a essas instalações industriais com consumos intensivos de energia;
- b) Intensidade carbónica (kgCO<sub>2</sub>e/tep) – quociente entre o valor das emissões de gases de efeito de estufa resultantes da utilização das várias formas de energia no processo produtivo e o respectivo consumo total de energia;
- c) Consumo específico de energia (kgep/ton) – quociente entre o consumo total de energia e o volume de produção.

As metas estão sujeitas aos seguintes valores:

- No mínimo, uma melhoria de 6% dos indicadores referidos em a) e c) em 6 anos, quando se trate de instalações com consumo intensivo de energia igual ou superior a 1000 tep/ano, ou melhoria de 4% em 8 anos para as restantes instalações;
- No mínimo, a manutenção dos valores históricos de intensidade carbónica (Portaria n.º 228/1990, 1990) (Despacho n.º 17313/2008, 2008) (ADENE - Agência para a Energia, 2011) (Direcção-Geral de Energia e Geologia) (Diário da República Electrónico, 1997).

### 2.1.2 Levantamento Energético

A auditoria efectuada nas instalações da Cabelte, localizada em Arcozelo – Valadares, vem satisfazer o disposto no decreto-lei nº 71/2008 de 15 de Abril de 2008 (regula o Sistema de Gestão dos Consumos de Energia que tem como objectivo promover a eficiência energética e monitorizar os consumos energéticos de instalações consumidoras intensivas de energia), bem como restante legislação correlacionada com o SGCIE.

O ano de referência considerado para a auditoria foi 2008. A Cabelte teve um consumo de energia de 3263,1 tep, sendo assim consumidora intensiva de energia (CIE), estando por isso abrangida pelo Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE).

A empresa tem um consumo superior ou igual a 1000 tep/ano, assim o Plano de Racionalização dos consumos de Energia (PREn) tem o período de 2009 – 2014, a meta a atingir é, no mínimo, uma melhoria de 6% da intensidade energética e consumo específico, em 6 anos e no mínimo a manutenção dos valores históricos de intensidade carbónica (Citeve, 2009).

No ano 2008 a produção da empresa foi de 31764 ton de cabo final.

O valor acrescentado bruto (VAB) das actividades empresariais, no ano 2008, foi de 24.258.425,95 Euro.

### 2.1.3 Formas de energia associadas

As fontes de energia utilizadas na Cabelte são:

1. Energia eléctrica;
2. Gás natural;
3. Gasolina;
4. Gasóleo.

As fontes de energia eléctrica e gás natural são utilizadas no processo produtivo. A gasolina e gasóleo são utilizados na frota interna de transportes.

Na Figura 2.1 encontra-se a representação percentual das várias formas de energia e custos de energia associados.

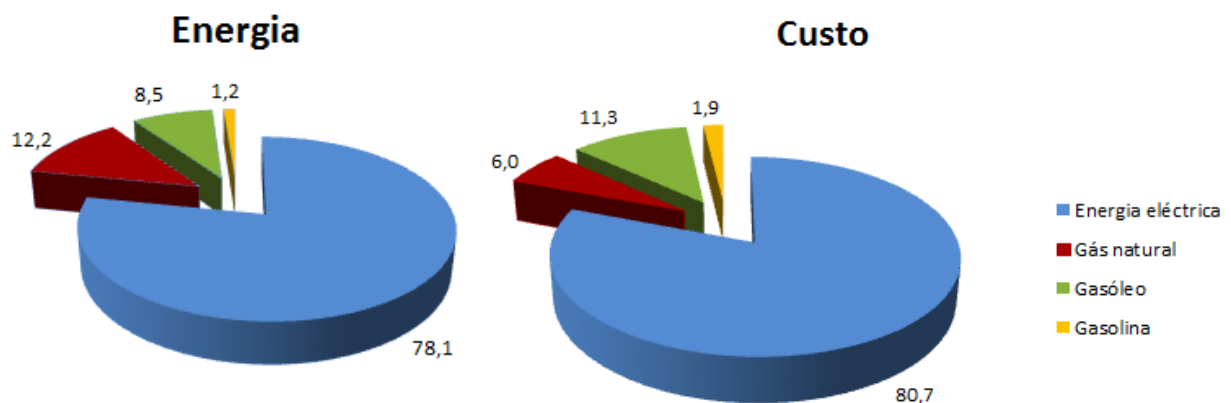


Figura 2.1 Representação percentual das várias formas de energia e custos de energia associados (Citeve, 2009).

### 2.2 Diagrama dos processos de fabrico para Produção de Cabos de Energia

#### Processos de fabrico

Para a produção de cabos de energia de baixa e média tensão utiliza-se como elemento condutor o cobre ou alumínio, e o processo é feito por várias etapas. O processo de produção é o mesmo para os dois metais sendo a única diferença o facto de não ser necessária na Unidade Cabelte Arcozelo a operação de trefilagem e cableamento quando se usa como metal o alumínio.

As etapas de produção são:

#### Trefilagem de cobre

A partir de varão de cobre com um diâmetro de 8 mm, são obtidos por estiramento (processo mecânico) numa trefiladora, fios de cobre com diâmetros variáveis e de menor dimensão que, depois, sofrem um tratamento térmico denominado recozimento de forma a adaptar as suas características, ao seu processamento e utilização posterior, nomeadamente no que se refere à maleabilidade e características eléctricas. O processo de recozimento envolve a passagem de uma determinada corrente eléctrica pelo condutor.

#### Cableamento de almas e de cabos metálicos nus

Este processo consiste na junção de vários fios metálicos nus, geralmente de forma helicoidal com um passo constante e tensões ajustadas às características dos elementos que integram o conjunto cableado. O processo de cableamento do cobre é mecânico (torção).

#### Isolamento

Esta operação envolve a deposição de uma camada de policloreto de vinilo (PVC), polietileno (PE) ou outro material isolante, sobre a alma condutora. Para determinadas operações o polietileno deve ser reticulado mediante transformações operadas na sua estrutura molecular, traduzidas, basicamente na inserção de “pontes” entre as cadeias lineares.

Na Cabelte, as tecnologias de reticulação podem, de uma forma simplista, ser agrupadas em dois grandes grupos em função do processo utilizado, ou seja:

- 1 - Reticulação por peróxidos mais pressão e temperatura na presença de azoto;
- 2 - Reticulação por silano.

No 1º processo a decomposição do peróxido vai permitir a criação de radicais livres em átomos de carbono das macromoléculas. Existem ligações directas entre os átomos de carbono.



## 2. Fundamentação teórica

No 2º processo a decomposição de compostos de silano (Silano –  $\text{SiH}_4$ ) vai permitir o posterior estabelecimento de ligações químicas entre átomos de carbono de macromoléculas. Os “grupos silanos” vão permanecer na estrutura do material após reticulação. A reticulação continua após extrusão por acção da temperatura e da humidade. Na reticulação por silano os três principais processos são: o processo Sioplas, o processo Monosil (silano líquido ou sólido) e o processo Visico.

### Blindagem/armação

Esta operação consiste na aplicação de componentes metálicos e plásticos com funções eléctricas e mecânicas.

### Extrusão de bainhas – Linha EP5

Esta operação consiste na aplicação de um revestimento interior e/ou exterior aos diversos componentes do cabo que lhe confere unidade e protecção final às acções externas.

Nesta operação os materiais utilizados são:

- Almas condutoras de cobre nuas e isoladas (flexíveis e rígidas); almas condutoras de alumínio nuas ou isoladas; material de revestimento que pode ser PVC e/ou PE; energia eléctrica e água de arrefecimento.

Os produtos desta operação são:

- Cabos com bainha; libertação de calor; resíduos de cabos e purgas.

O balanço global deste processo está representado na Figura 2.2.

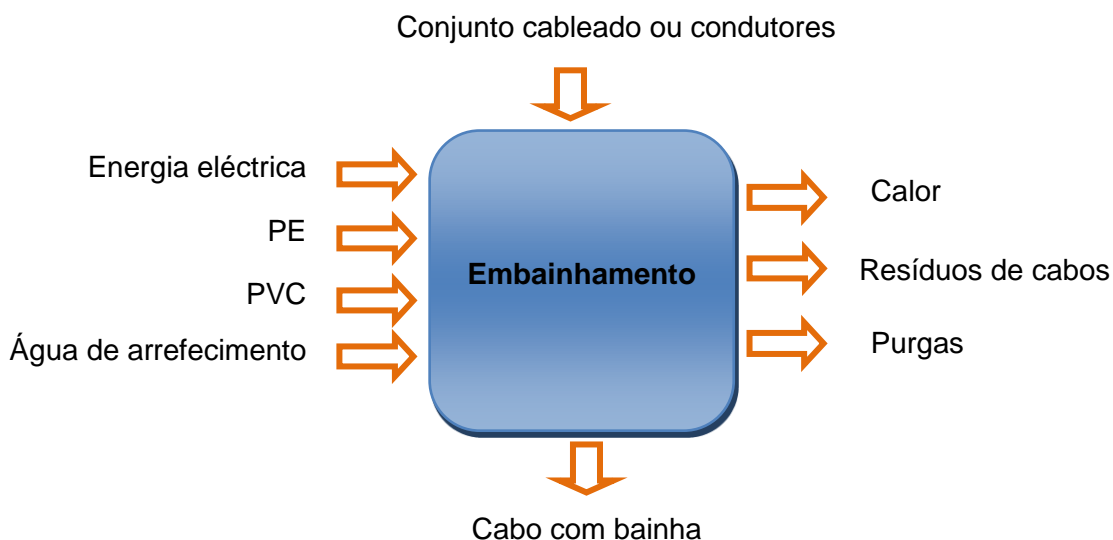


Figura 2.2 Processo de extrusão de bainhas na EP5.

### 2.2.1 Cabos de energia de média tensão

A Cabelte iniciou o fabrico de cabos de média tensão (MT) em 1983, na sequência de um projecto integrado que envolveu, um investimento significativo em instalações e equipamentos de ensaio.

Numa fase inicial, a gama de produtos incluía sobretudo cabos que eram usados nas redes públicas de distribuição de energia de MT e em algumas redes industriais em Portugal.

Ao longo dos anos, novos tipos de cabos com requisitos técnicos mais exigentes, foram incluídos na sua gama de fabrico, de referir em particular, as aplicações nas redes de MT, dos aeroportos, metropolitanos e centrais eólicas.

A Cabelte foi acompanhando essa evolução e possui, hoje, uma gama alargada de referências, cobrindo os vários níveis de tensão, diversas normas nacionais e as mais importantes normas internacionais e, ainda, especificações próprias de alguns clientes e utilizadores.

Em 2005 a Cabelte investiu em novos equipamentos de produção, que lhe permitiram duplicar a sua produção em cabos de MT.

Caracterização genérica de cabos de MT:

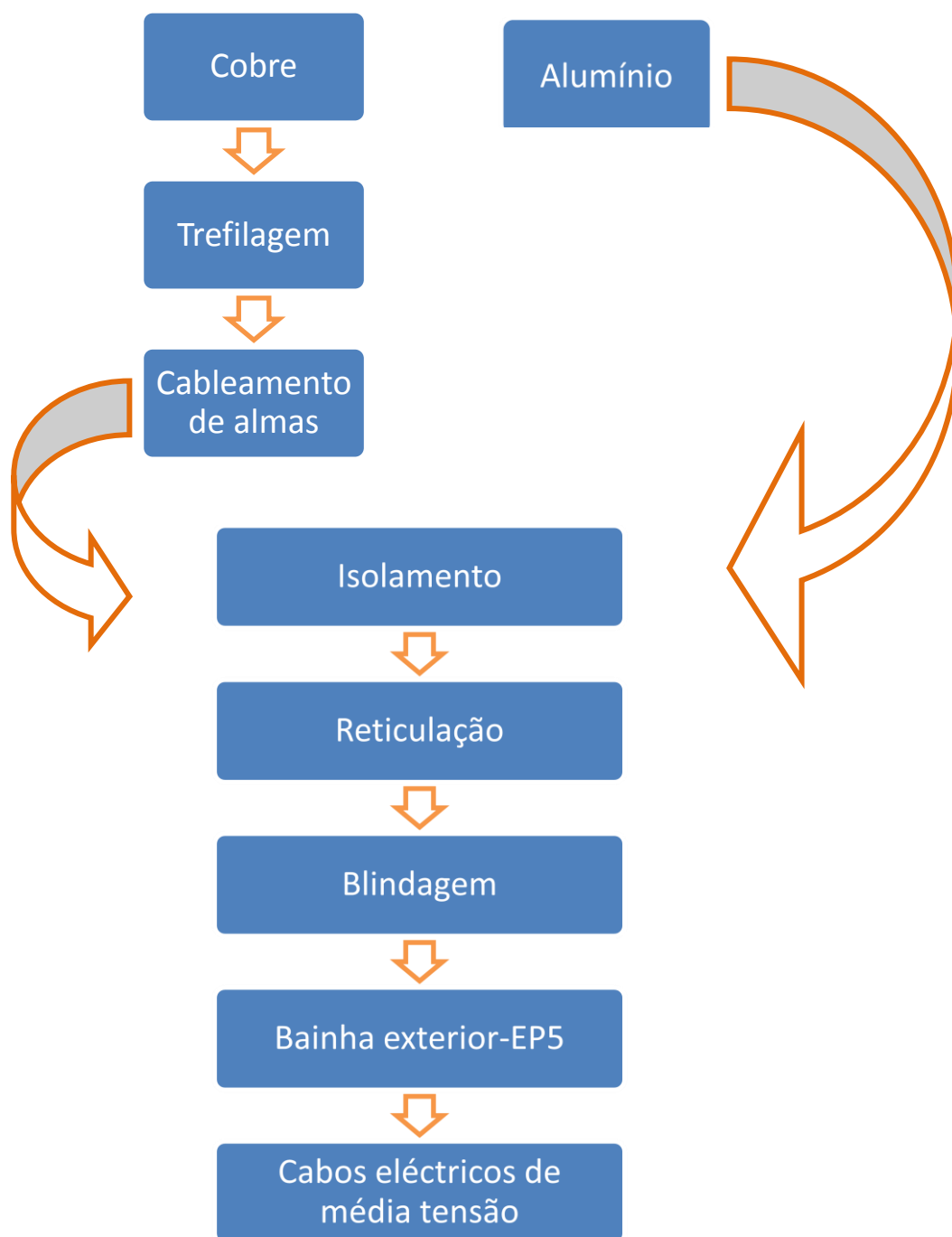
- São os condutores que asseguram a transmissão da energia eléctrica;
- Os revestimentos dos condutores são isolantes e os semicondutores interno e externo, extrudidos simultaneamente, garantem o adequado nível de segurança eléctrica, para as tensões de serviço especificadas (superior a 1 kV até 60 kV);
- Os revestimentos exteriores são adequados à protecção externa dos cabos, tendo em consideração as condições de instalação.

Os materiais mais comuns usados nos condutores são o cobre e o alumínio pelos elevados valores de condutividade que apresentam e pela facilidade do seu processamento.

As gamas mais comuns dos cabos de energia de MT produzidas e comercializadas pela Cabelte, distribuem-se nas seguintes principais famílias:

- Cabos monopolares de cobre ou de alumínio;
- Cabos tripolares de cobre ou de alumínio;
- Cabos trimonopolares de cobre ou de alumínio (Grupo Cabelte, 2008).

Na Figura 2.3 apresenta-se o diagrama correspondente à produção de cabos de Média Tensão (MT), família “Cabos monopolares de cobre ou alumínio”.



**Figura 2.3 Diagrama processual dos cabos de média tensão.**

### **2.2.2 Cabos de energia de baixa tensão para aplicações industriais**

Ao longo do tempo, o mercado tem verificado uma evolução significativa, passando a exigir novos tipos de cabos para novas aplicações bem como requisitos normativos mais abrangentes e exigentes.

A Cabelte foi acompanhando essa evolução, dotando-se das competências técnicas e dos equipamentos adequados à produção e ensaio dos diversos tipos de cabos que constituem a sua gama de produtos. Hoje fazem parte desta gama milhares de referências distribuídas por várias famílias de produtos, com aplicações em redes públicas de distribuição de energia de baixa tensão (BT), instalações industriais e residenciais, instalações para os circuitos de potência e de comando dos caminhos-de-ferro, metropolitanos, aeroportos, etc.

Os cabos são produzidos de acordo com diversas normas nacionais de vários países (Portugal, Espanha, França, Inglaterra, Alemanha, Suécia, etc.) e internacionais (EN, Cenelec, CEI, etc.) e, também, especificações próprias de alguns clientes e utilizadores.

Caracterização genérica de cabos de BT:

- São os condutores que asseguram a transmissão da energia eléctrica (cobre ou alumínio);
- Os revestimentos dos condutores são isolantes e garantem o adequado nível de segurança eléctrica, para as tensões de serviço especificadas (até 1 kV);
- Os revestimentos exteriores são adequados à protecção externa dos cabos, tendo em consideração a aplicação e as condições de instalação e exploração. A nível da protecção dos cabos são habitualmente usadas bainhas de materiais poliméricos e, no caso em que se pretenda uma maior protecção mecânica usam-se armaduras ou fitas metálicas.

As gamas mais comuns dos cabos de energia de BT produzidas e comercializadas pela Cabelte, distribuem-se nas seguintes principais famílias:

- Cabos de distribuição de cobre;
- Cabos de distribuição de alumínio;
- Cabos de sinalização, comando e medida;
- Cabos de transporte e distribuição aéreos (Torçadas) (Grupo Cabelte, 2008).

Na Figura 2.4 apresenta-se o diagrama correspondente à produção de cabos industriais de Baixa Tensão (BT).

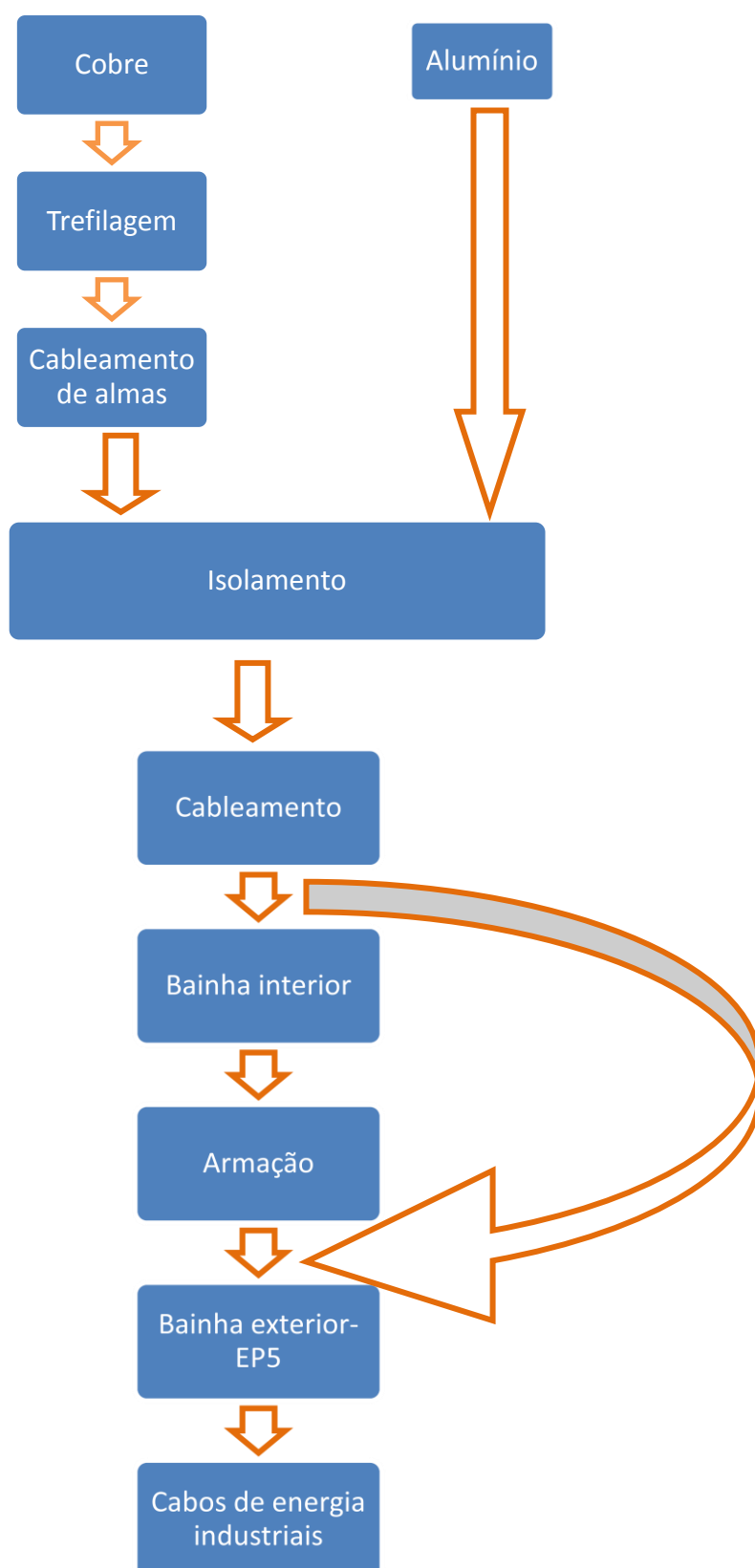


Figura 2.4 Diagrama processual dos cabos industriais de baixa tensão.

### 2.3 Processo de extrusão

Fundamentalmente a extrusão consiste em converter a matéria-prima num produto com secção transversal uniforme, o que se consegue forçando o fundido através de um orifício com a forma desejada, a fieira. As extrusoras podem ser de pistão (êmbolo) ou em parafuso (sem-fim) e dentro das extrusoras de parafuso ainda se podem distinguir por serem de mono fuso ou duplo fuso.

Uma linha de extrusão é geralmente composta por:

- Extrusora: máquina que funde o polímero e o envia sob pressão, para a fieira;
- Fieira: elemento por onde passa o fundido e que lhe confere a geometria pretendida;
- Equipamento acessório: conjunto de dispositivos que arrefecem o extrudido, que o transportam, e que controlam as características mais importantes do produto extrudido, como diâmetro, rigidez dieléctrica, etc.

Hoje em dia as extrusoras habitualmente utilizadas na indústria, são as extrusoras de parafuso. Especificamente uma extrusora de parafuso, tal como se pode verificar na Figura 2.5, é composta por:

- Tremonha: por onde se efectua a alimentação do material;
- Grupo de plastificação: este grupo compreende a câmara o parafuso e as resistências de aquecimento e ventiladores que lhe garantem uma estabilidade térmica controlada;
- Sistema de controlo: que permite manter a temperatura da câmara dentro de limites predefinidos, seleccionar a velocidade de rotação do fuso e regular a pressão do fundido (Castro et al, 2001).

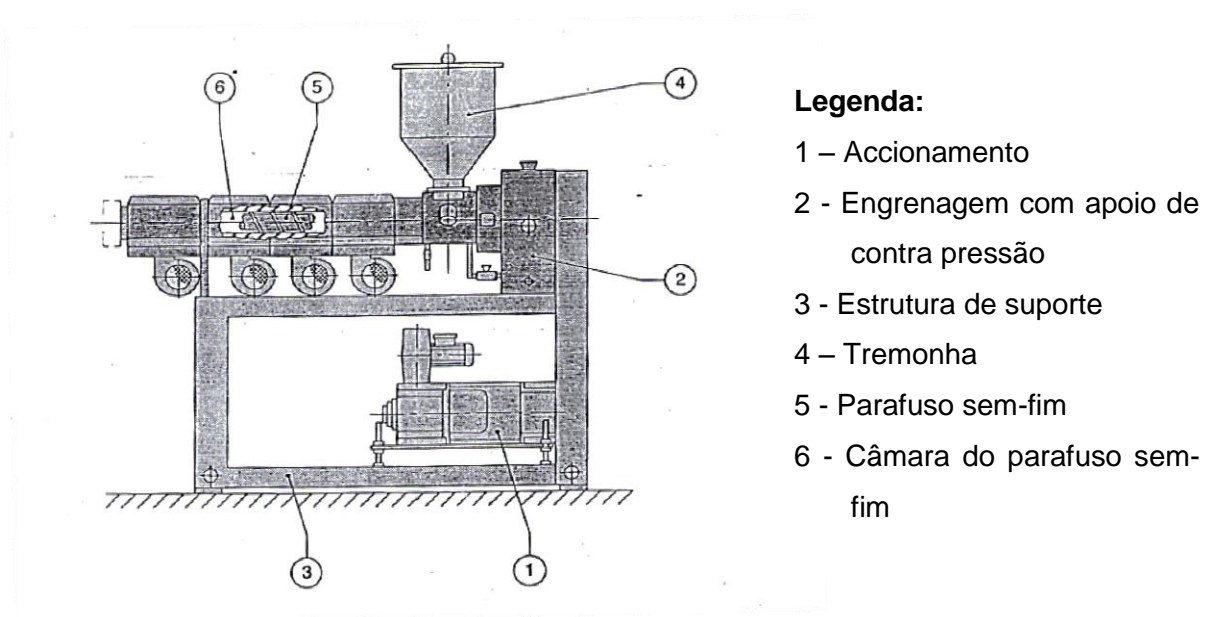
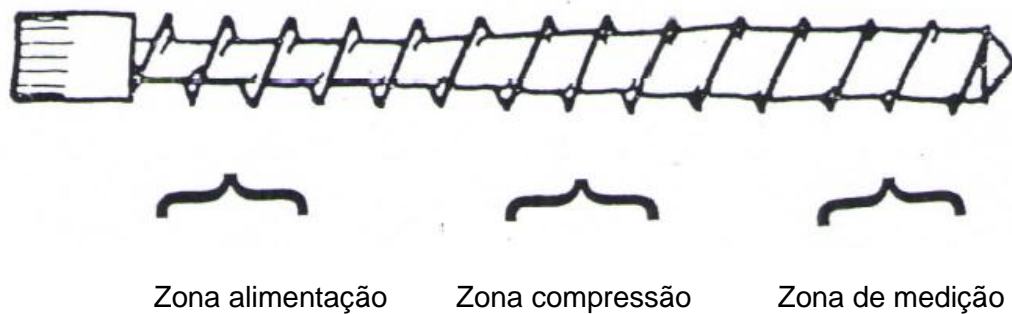


Figura 2.5 Extrusora de parafuso mono fuso.

## 2. Fundamentação teórica

O parafuso, apresenta uma folga muito reduzida (apenas alguns décimos de milímetro) em relação à superfície interior da câmara e roda por acção da força motriz. A rotação do parafuso obriga o material, que entra na tremonha, a avançar em direcção à extremidade oposta onde está a fiação. Durante o avanço, e devido ao aquecimento causado pelas resistências de aquecimento, reguladas para temperaturas crescentes, e pelo atrito do material, este vai fundindo gradual e continuamente.

O parafuso da extrusora é semelhante ao parafuso sem fim ou de Arquimedes. A principal diferença é que, no parafuso de extrusão, a secção varia ao longo do comprimento, tal como se pode verificar na Figura 2.6. A principal característica deste parafuso é a variação gradual da profundidade do canal, que é grande na zona de alimentação adjacente à tremonha e reduzido perto da fiação, na zona de medição.



**Figura 2.6 Fuso de extrusão.**

No parafuso são distintas três zonas, conforme se pode observar na Figura 2.6:

- Zona de alimentação: o material é alimentado sob a forma de grãos e é necessário assegurar o seu transporte para diante sob a forma de um bloco de material granulado.
- Zona de compressão: o material sólido é comprimido numa secção gradualmente menor, fluindo sob o efeito combinado do calor proveniente da câmara e do atrito entre partículas.

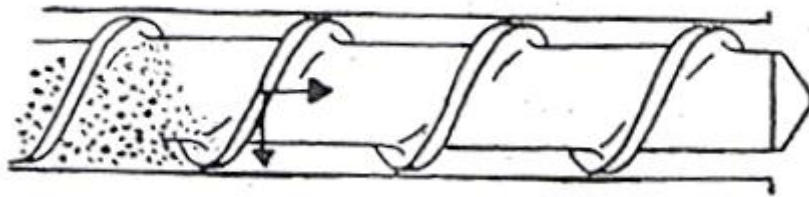
A fusão inicia-se numa camada fina entre o cilindro e o bloco compacto de material granulado. O flanco anterior do parafuso força essa camada a um percurso circulatório, conforme se pode verificar na Figura 2.7, na parte posterior do canal, pelo que há sempre fornecimento contínuo de novo plástico. À medida que o polímero progride ao longo do cilindro, a quantidade de material fundido aumenta e a zona sólida diminui. A dada altura a

## 2. Fundamentação teórica

---

zona sólida quebrar-se-á em pedaços que, rodeados por material fundido mais quente, fundem rapidamente.

- Zona de medição: criando-se uma maior contra pressão e promovendo a homogeneização do fundido, o polímero é preparado para que possa atravessar a fiação (Cabelte, Guia prático de extrusão, 2004).

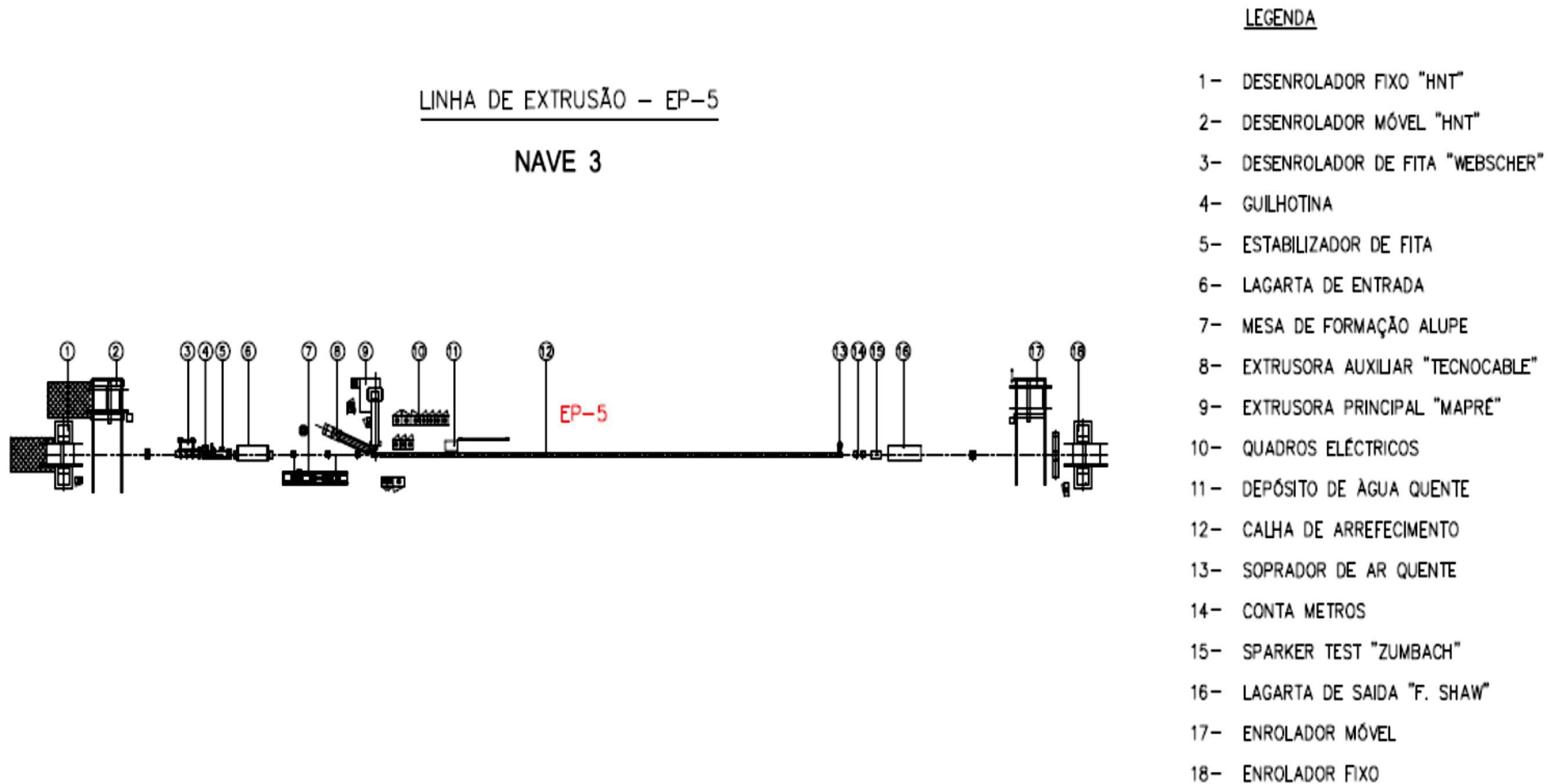


**Figura 2.7 Transporte do material granulado ao longo do fuso.**



### 2.3.1 Linha de extrusão EP5

A linha de extrusão EP5 analisada neste trabalho, em termos energéticos e térmicos, pode ser visualizada na Figura 2.8. Esta linha é composta por vários componentes, que apresentam funções específicas.



ESCALA 1/200

Figura 2.8 Linha de extrusão EP5 (Linha de extrusão, EP5, 2011).



### **Função dos principais componentes da linha de extrusão EP5**

Além da Figura 2.8, também se pode visualizar nas fotografias correspondentes à Figura 2.9, os principais componentes da linha de extrusão EP5. As suas principais funções são:

1 - Desenrolador fixo e móvel de bobina rotativa

A função do desenrolador é emitir as bobinas com os elementos a revestir.

2 - Lagarta de entrada

A função da lagarta de entrada é traccionar os elementos a revestir.

3 - Extrusoras

A função das extrusoras é plastificar e homogeneizar o material de revestimento.

4 - Cabeça de extrusão

A função da cabeça de extrusão é distribuir e orientar o fluxo de material.

5 - Calha de arrefecimento

A função da calha de arrefecimento é assegurar de uma forma eficaz o arrefecimento do elemento revestido.

6 - Controlador de diâmetro

A função do controlador de diâmetro é medir e controlar continuamente o diâmetro.

7 - Soprador

A função do soprador é secar a superfície extrudida.

8 - Conta metros

A função do conta metros é medir o comprimento do cabo em produção.

9 - Sparker tester

A função do sparker tester é testar a rigidez dieléctrica do isolamento.

10 - Lagarta de saída:

A função da lagarta de saída é traccionar os elementos revestidos

11 - Enrolador fixo e móvel

A função do enrolador é permitir o enrolamento contínuo do cabo fabricado em bobinas.

## 2. Fundamentação teórica

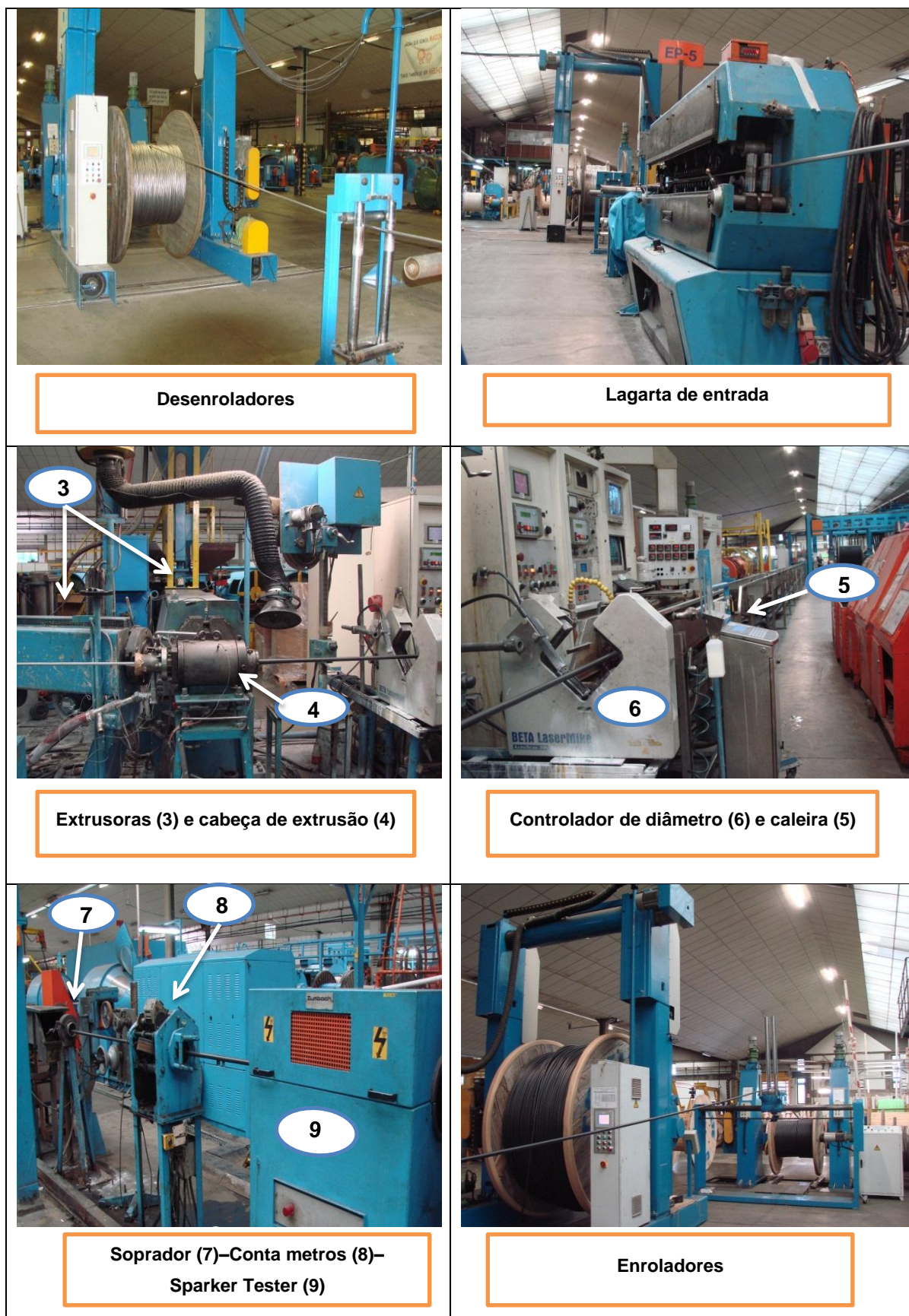


Figura 2.9 Principais componentes da linha EP5.

### 2.3.2 Materiais

Os materiais utilizados neste estudo na linha de extrusão EP5 para o revestimento exterior dos cabos são de dois tipos: Policloreto de vinilo (PVC) e Polietileno (PE).

#### **Policloreto de vinilo (PVC)**

Os compostos de PVC têm como polímero base o policloreto de vinilo. As condições de polimerização, nomeadamente a temperatura determinam a estrutura molecular.

A resina de PVC apresenta boas características eléctricas, boa resistência à chama (libertação de HCl resultante da decomposição), mas é dura e quebradiça à temperatura ambiente e termicamente instável.

Para o PVC ser extrudido necessita de ser aditivado, os aditivos usualmente utilizados são:

Plastificantes: diminuição da dureza por redução das ligações de Van der Waals entre as moléculas;

Cargas: têm como principal objectivo a redução de custos, no entanto melhoram a resistividade volumétrica e têm como principal inconveniente a redução das características mecânicas;

- Estabilizantes: têm como principal objectivo a redução da degradação do PVC por acção do calor;
- Antioxidantes: retardam a degradação (oxidação) durante o ciclo de vida;
- Lubrificantes: melhoram o processamento, permitindo a obtenção de maiores débitos.

São também utilizados aditivos para obtenção de características específicas, tais como:

- Trióxido de antimónio e alumina hidratada: melhorar o comportamento ao fogo;
- Borracha nitrílica: melhorar a resistência aos hidrocarbonetos.

Os compostos de PVC têm a possibilidade de se ajustar as formulações de forma a cumprir os requisitos pretendidos, facilidade de processamento, boas características eléctricas, boas características mecânicas, bom comportamento ao envelhecimento térmico e tem como temperatura máxima de funcionamento em regime permanente 70 °C, podendo elevar-se até 105 °C com formulações especiais. Têm também boa resistência à propagação da chama, possibilidade de reciclagem e preço competitivo quando comparado com outros materiais utilizados em aplicações similares. As principais desvantagens são a sua constante dieléctrica e as perdas eléctricas o que impede a sua utilização como isolamento de cabos de média tensão. Além disso na combustão liberta gases opacos, tóxicos e corrosivos, embora seja possível a redução destes efeitos utilizando formulações especiais (Titow, 1984) (Cabelte, 2011, Materiais Plásticos).

### **Poliétileno (PE)**

O poliétileno é uma poliolefina pois provém da polimerização de olefinas (alcenos).

Em função das condições de polimerização obtêm-se: Poliétileno de baixa densidade (PEBD/LDPE), Poliétileno de alta densidade (PEAD/HDPE), Poliétileno de média densidade (PEMD/MDPE) e Poliétileno linear de baixa densidade (PELBD/LLDPE). A densidade está relacionada com o nível de cristalinidade, ou seja maior cristalinidade implica maior densidade.

O PE apresenta boas propriedades para ser utilizado como material de isolamento, baixas perdas dieléctricas, elevada rigidez dieléctrica, boa resistência à generalidade das substâncias químicas, bom comportamento a baixas temperatura, elevada impermeabilidade (gases e líquidos), mau comportamento à propagação da chama, degradação acentuada por acção das radiações UV e as propriedades mecânicas e eléctricas estão dependentes do tipo de PE, em particular do número e comprimento das ramificações que afectam a densidade (Cabelte, 2011, Materiais Plásticos).

## **2.4 Perdas eléctricas e perdas térmicas**

### **2.4.1 Força motriz e perdas eléctricas em redes de distribuição**

#### **Motores eléctricos**

A maior parte dos dispositivos mecânicos utilizados na indústria são movidos por motores eléctricos, que constituem as cargas mais importantes do ponto de vista do consumo de electricidade. A elevada percentagem de energia eléctrica consumida pelos motores, faz com que representem um dos principais potenciais de poupança de energia eléctrica, sendo desejável a sua optimização energética, mediante utilização de tecnologias mais eficientes capazes de reduzir o consumo de electricidade em força motriz e de conduzir a melhoramentos na qualidade de serviço.

Principais factores que contribuem para o desperdício de Energia Eléctrica:

- Equipamentos com baixo rendimento;
- Baixo factor de potência;
- Equipamentos sobredimensionados;
- Cargas variáveis mal aproveitadas.

As perdas num motor correspondem a energia que não é convertida em trabalho útil, e que é transformada em calor. As perdas além de contribuírem para a redução de

## 2. Fundamentação teórica

---

rendimento, também provocam um aumento da temperatura do motor. Um aumento excessivo pode conduzir a uma redução substancial da sua vida útil.

O baixo rendimento dos motores eléctricos é um dos maiores factores de desperdício. Levantamentos já realizados comprovam que aproximadamente 40% dos motores operam abaixo dos 50% da sua carga nominal. Um motor bem dimensionado deverá ter um factor de carga entre 65% e 100% (Sá, 2010). O sobredimensionamento de motor acarreta várias desvantagens:

- Investimento maior na aquisição do motor e na aparelhagem de comando e protecção;
- Degradação do rendimento do motor, conduzindo a maiores custos de funcionamento;
- Diminuição do factor de potência, e a consequente diminuição de disponibilidade eléctrica e aumento de perdas de energia na rede de distribuição. O factor de potência decresce continuamente com a diminuição da carga. Os motores sobredimensionados são a principal causa do reduzido factor de potência de algumas instalações industriais em Portugal (Sá, 2010).

### **Factor de Potência**

Neste capítulo vão ser referenciadas todas as equações que serviram de base aos cálculos energéticos (Cydesa, 2009) (Sá, 2010).

- Potência aparente (S expressa em Volt-Ampere (VA)):

$$S = \sqrt{3} * U * I \quad \text{Equação 2.1}$$

Em que:

U = Tensão entre fases (V)

I = Intensidade de corrente (A)

- Potência activa (P expressa em W): componente da potência aparente que realiza trabalho.

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi \quad \text{Equação 2.2}$$

Em que:

$\cos \varphi$  = Co-seno entre as componentes fundamentais da tensão e da corrente

## 2. Fundamentação teórica

---

– Potência reactiva (Q expressa em volt ampere reactivo (VAr)): componente da potência aparente que não realiza trabalho. É gasta para criar e manter o campo magnético de cargas indutivas.

$$Q = \sqrt{3} * U * I * \sin \varphi \quad \text{Equação 2.3}$$

Em que:

$\sin \varphi$  = É o seno entre as componentes fundamentais da tensão e da corrente medida;

– Factor de potência (FP): O factor de potência indica a fracção da potência total fornecida em kVA que é efectivamente utilizada para realizar trabalho.

$$FP = \frac{P}{S} \quad \text{Equação 2.4}$$

Na ausência de harmónicos, o  $FP = \cos \varphi$  (Fluke, 2011).

A correcção do factor de potência é um investimento necessário para reduzir as perdas eléctricas nas redes de distribuição de energia. As perdas eléctricas dependem quadraticamente da potência aparente. Ao corrigirmos o factor de potência estamos a diminuir a potência aparente consumida e consequentemente as perdas eléctricas nas redes de distribuição.

– Perdas eléctricas activas ( $P_p$  expressa em W):

$$P_P = 3 * R_{eq} * I^2 = R_{eq} * \frac{S^2}{U^2} \quad \text{Equação 2.5}$$

Em que:

$R_{eq}$  = Resistência equivalente da rede ( $\Omega$ )

### **Técnicas de Estimativa de Carga de motores**

O rendimento máximo de um motor encontra-se entre os 80% e 90% do factor de carga e existem alguns métodos para se poder determinar o factor de carga (FC) dos motores (Sá, 2010):



## 2. Fundamentação teórica

---

### – Métodos gráficos:

Medindo o factor de potência ou a intensidade de corrente, e sabendo a curva característica podemos obter o factor de carga do motor. O método gráfico, um dos mais simples e menos precisos pode contudo identificar de uma forma grosseira motores sobredimensionados.

### – Método baseado na medição da potência eléctrica:

O factor de carga (FC) poderá ser determinado pela relação entre a potência eléctrica consumida e a potência eléctrica nominal. De notar que a potência nominal da chapa de características de um motor é a potência mecânica, ou a potência de saída, do motor, o factor de carga pode então ser calculado pela Equação 2.6.

$$FC = \eta * \sqrt{3} * U_{\text{medido}} * I_{\text{medido}} * \frac{\cos \varphi_{\text{medido}}}{P_n} \quad \text{Equação 2.6}$$

Em que:

FC = Factor de carga;

$\eta$  = Rendimento do motor em plena carga (%);

$U_{\text{medido}}$  = Tensão medida entre fases (V);

$I_{\text{medido}}$  = Intensidade de corrente medida na fase (A);

$\cos \varphi_{\text{medido}}$  = É o co-seno entre as componentes fundamentais da tensão e da corrente medida;

$P_n$  = Potência nominal da chapa de características de um motor (W)

### **Perdas em condutores**

As perdas activas em condutores de electricidade podem ser calculadas pela fórmula de cálculo das perdas de Joule em condutores eléctricos trifásicos, Equação 2.5. Para isso é necessário calcular a resistência eléctrica dos condutores. Pela Equação 2.7 calcula-se essa resistência.

$$R = \rho * \frac{l}{s} \quad \text{Equação 2.7}$$

Em que:

$l$  = Comprimento do condutor (m)

$s$  = Secção do material condutor ( $\text{mm}^2$ )

$\rho$  = Resistividade do material condutor ( $\Omega * \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$ )

### **Energia reactiva**

Todos os receptores, cujo princípio de funcionamento assenta nos efeitos dos campos electromagnéticos (motores, transformadores, etc.) consomem energia reactiva, indispensável ao seu funcionamento.

A potência reactiva consumida pelo circuito magnético das cargas, tais como motores, transformadores ou iluminação fluorescente, conduz a um aumento da corrente em circulação nos condutores. O desfasamento entre a tensão e a corrente que corresponde ao factor de potência conduz a vários inconvenientes:

- Aumento das perdas eléctricas por efeito de Joule, uma vez que estas são proporcionais ao quadrado da intensidade da corrente;
- Aumento da queda de tensão, uma vez que esta é directamente proporcional à intensidade da corrente;
- Menor disponibilidade eléctrica por parte dos transformadores, e maior aquecimento destes. A potência reactiva, ao sobrecarregar uma instalação eléctrica inviabiliza a sua plena utilização limitando a potência disponível;
- Menor disponibilidade eléctrica por parte dos condutores. Para manter perdas mínimas nos condutores, à medida que o factor de potência diminui para a mesma carga activa, a secção tem de aumentar;
- Redução do tempo de vida útil dos motores pela sobrecarga e queda de tensão;
- Penalização financeira paga ao fornecedor de energia.

A forma de limitar ou evitar a componente reactiva reduzindo assim o valor da intensidade da rede sem alterar a dimensão da componente activa, consiste em produzir energia reactiva dentro da própria instalação, montando para o efeito condensadores. Tendo em conta o local onde os condensadores são instalados a compensação do factor de potência, pode ser: compensação individual, compensação centralizada, compensação parcial por grupos de carga e compensação combinada.

A solução mais económica é a compensação centralizada onde é instalada a bateria de condensadores à saída do Transformador. Apresenta como principais desvantagens, as maiores perdas na rede a jusante do local de instalação da bateria e maior probabilidade de avaria nos equipamentos sensíveis da rede (autómatos, variadores electrónicos de velocidade, etc.) devido a cavas de tensões e sobre tensões provocadas pela comutação de escalões de elevada potência reactiva.

Sob o ponto de vista tecnológico, a compensação individual é de facto a melhor solução. Apresenta como principais vantagens a redução das perdas e dos custos energéticos e diminui a carga sobre os circuitos de alimentação das unidades compensadas e são

## 2. Fundamentação teórica

---

beneficiados os níveis de tensão. A principal desvantagem desta solução é o factor económico.

Em muitos casos a compensação combinada, é a solução mais conveniente, uma vez que pressupõe um misto de alternativas (Novais, Ar comprimido industrial, 2008) (Sá, 2010).

Considerando que uma instalação antes da compensação absorve uma potência aparente inicial  $S_1$ , para alimentar uma carga activa  $P_1$  e uma carga reactiva  $Q_1$ , então o factor de potência inicial será calculado de acordo com a Equação 2.4.

Por outro lado a potência reactiva  $Q_1$  pode ser obtida a partir da Equação 2.3 e a potência activa  $P_1$  pela Equação 2.2. Dividindo-as membro a membro obtendo-se a Equação 2.8.

$$\frac{\sin \varphi_1}{\cos \varphi_1} = \frac{Q_1}{P_1} \Rightarrow Q_1 = P_1 * \tan \varphi_1 \quad \text{Equação 2.8}$$

Após a colocação dos condensadores, a potência activa será aproximadamente a mesma, ou seja,  $P_2 = P_1$ , e a potência reactiva de acordo com a Equação 2.9 terá um valor  $Q_2$ ;

$$Q_2 = P_1 * \tan \varphi_2 \quad \text{Equação 2.9}$$

Assim, a bateria de condensadores descrita pela Equação 2.10 deverá ter a potência reactiva de  $Q_c$ ;

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P_1 * \tan \varphi_1 - P_1 * \tan \varphi_2 = P_1 * (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad \text{Equação 2.10}$$

As Figuras 2.10 e 2.11, permitem compreender as noções acima mencionadas (Novais, 2008).

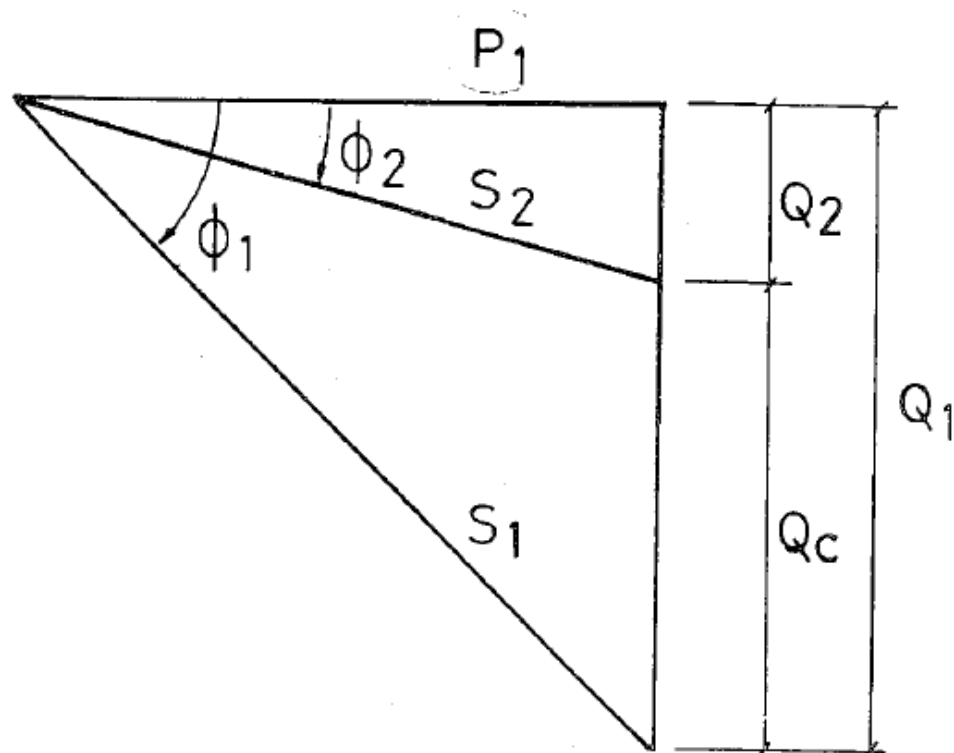


Figura 2.10 Diagrama fasorial da tensão e correntes.

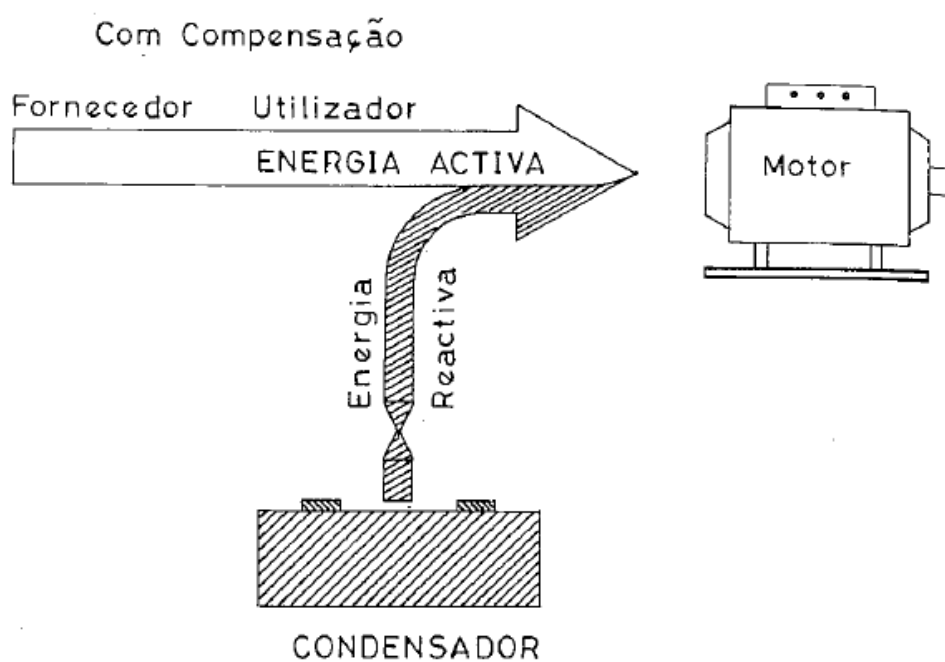


Figura 2.11 Instalação eléctrica com condensador.

### 2.4.2 Perdas térmicas

A transferência de calor por condução é descrita pela lei de Fourier. A lei de Fourier é fenomenológica, ou seja, foi desenvolvida a partir de fenómenos observados em vez de ter sido derivada a partir de princípios fundamentais. Para usar a lei de Fourier, a condutividade térmica do material deve ser conhecida. Essa propriedade, que é classificada como uma propriedade de transporte, fornece uma indicação da taxa à qual a energia é transferida pelo processo de difusão. Ela depende da estrutura física da matéria, atômica e molecular, que está relacionada com o estado físico da matéria. Além disso, a lei de Fourier é uma expressão vectorial, indicando que o fluxo térmico é normal a uma isotérmica e no sentido da diminuição das temperaturas. A lei de Fourier é uma lei diferencial traduzida na Equação 2.11, aplica-se a toda a matéria, independentemente do seu estado físico (sólido, líquido ou gasoso) (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2008).

$$q_x = k * A * \frac{dT}{dX} \quad \text{Equação 2.11}$$

Em que:

$q_x$  = Taxa de transferência de calor (W)

$k$  = Condutividade térmica ( $W/(m \ K)$ )

$dT$  = Variação infinitesimal de temperatura (K)

$dx$  = Variação infinitesimal da espessura (m)

$A$  = Área da secção transversal ( $m^2$ )

Neste estudo as perdas térmicas foram calculadas relativamente à extrusora principal da linha EP5. A Figura 2.12 mostra o esquema em corte dessa mesma extrusora.

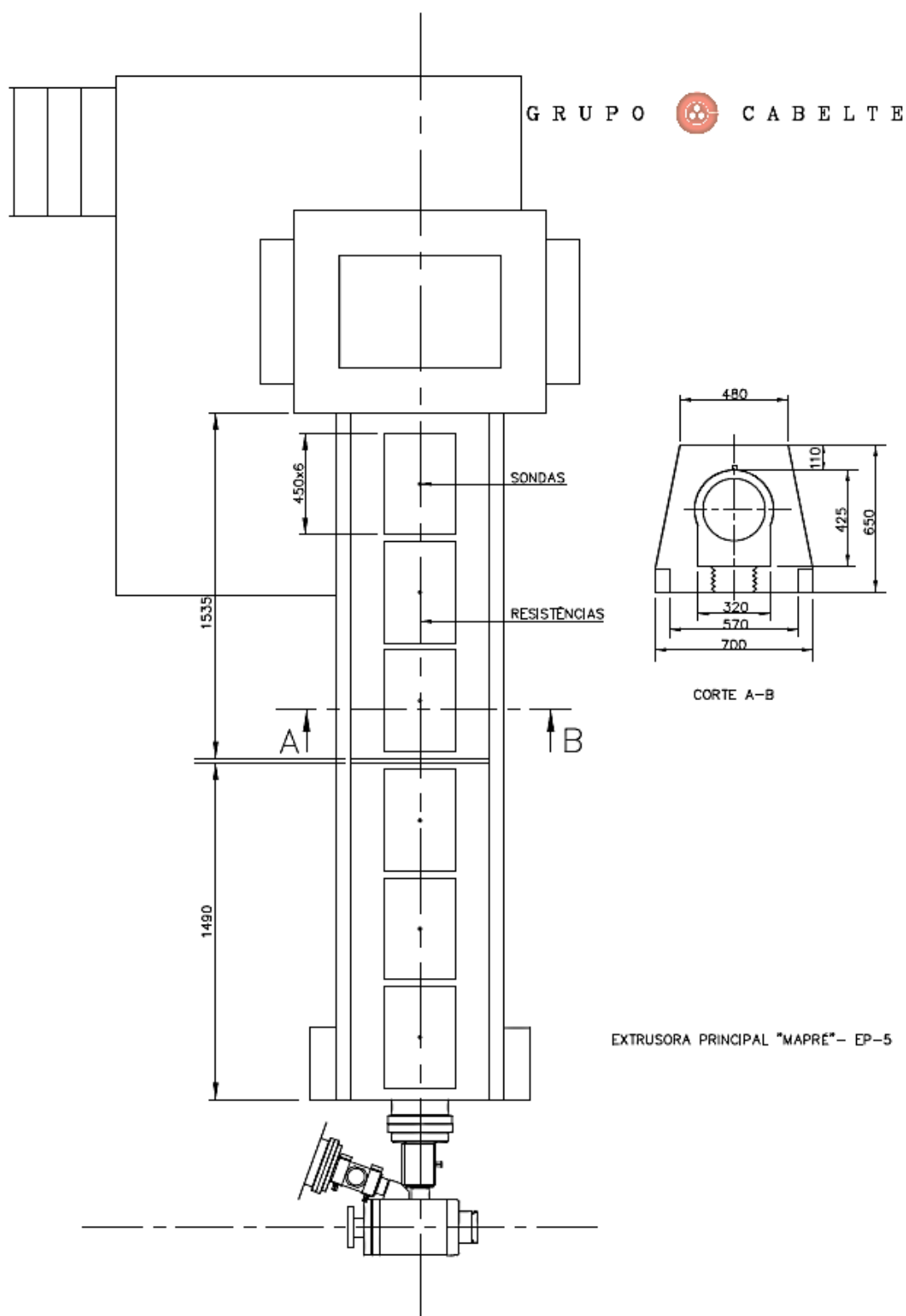


Figura 2.12 Extrusora principal da Linha EP5 (Extrusora principal Mapré, 2011).

## 2. Fundamentação teórica

---

O calor dissipado por condução que é previsto pela equação de Fourier, Equação 2.11, pode também ser calculado recorrendo à convecção natural entre a extrusora e o ar ambiente e a radiação uma vez que se considera regime estacionário. Devido à geometria apresentada pela blindagem exterior da extrusora principal considerou-se convecção natural sobre uma placa horizontal e convecção natural sobre uma placa vertical inclinada. As correlações empíricas usadas para estimar os coeficientes de calor em placas horizontais apresentadas por Ozisik, quanto às correlações empíricas usadas para estimar os coeficientes de calor em placas verticais inclinadas, Ozisik refere que as correlações a usar podem ser previstas pelas equações correspondentes a placa vertical, situação esta que foi contemplada para efeitos de cálculo (Ozisik, 1990).

No caso de temperatura da parede uniforme, o autor MCAdams (Ozisik, 1990), estabeleceu a correlação do número de Nusselt médio mediante a Equação 2.12:

$$Nu_m = c * (Gr_L * Pr)^n \quad \text{Equação 2.12}$$

Em que todas as propriedades do ar devem ser avaliadas à temperatura do filme  $T_f$ .

$L$  = Dimensão característica (m)

$Nu_m$  = Número de Nusselt médio

$Gr_L$  = Número de Grashof

$c$  e  $n$  = números tabelados que dependem da gama de valores obtidos, produto de  $Gr_L * Pr$  e da geometria em causa, ver Anexo F.

A dimensão característica ( $L$ ) depende da geometria do objecto em causa, ou seja, no caso de placa vertical o  $L$  corresponde à altura da placa, no entanto na situação de placa horizontal rectangular o  $L$  corresponde à média aritmética das duas dimensões.

Sendo o número de Grashof definido pela Equação 2.13, o número de Nusselt pela Equação 2.14 e o coeficiente de convecção pela Equação 2.15.

$$Gr_L = \frac{g * \beta * (T_\infty - T_w) * L^3}{\nu^2} \quad \text{Equação 2.13}$$

Em que:

$g$  = Aceleração da gravidade ( $m / s^2$ )

$\beta$  = Coeficiente de dilatação do ar ( $1/K$ )

$T_w$  = Temperatura da superfície da parede (K)

## 2. Fundamentação teórica

---

$T_{\infty}$  = Temperatura do ar ambiente (K)

$\vartheta$  = Viscosidade cinemática do ar nas condições de trabalho ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$$Nu_m = \frac{h_m * L}{k} \quad \text{Equação 2.14}$$

Em que:

$h_m$  = Coeficiente de transferência de calor ( $\text{W}/\text{m}^2 \text{ K}$ )

$k$  = Condutividade do fluido nas condições de trabalho ( $\text{W}/\text{m K}$ )

Deste modo a taxa de transferência de calor por convecção é dada pela Equação 2.15.

$$q_{\text{conv}} = h_m * A * \Delta T \quad \text{Equação 2.15}$$

Em que:

$\Delta T$  = Variação da temperatura (K)

$A$  = Área ( $\text{m}^2$ )

Deve-se também considerar as perdas térmicas por radiação uma vez que todos os corpos emitem ondas electromagnéticas que se situam no espectro de radiação térmica. Se o meio intermediário estiver preenchido por uma substância que não interfere na radiação, a radiação emitida por um dos corpos atravessa o meio sem nenhuma atenuação e atinge o outro corpo. Assim o corpo quente experimenta uma perda líquida de calor, e o corpo frio um ganho líquido de calor. A troca líquida da radiação na superfície de um corpo é a diferença entre as energias emitida e absorvida por esse corpo definida pela Equação 2.16. Essa equação permite calcular a troca de calor por radiação entre um pequeno elemento de superfície (blindagem da extrusora principal) e um corpo de grandes dimensões (nave industrial).

Para efeitos de cálculo a temperatura da nave industrial é igual à temperatura ambiente,  $T_{\infty}$ .

$$q_{\text{rad}} = A * \varepsilon * \sigma * (T_w^4 - T_{\infty}^4) \quad \text{Equação 2.16}$$



Em que:

$q_{\text{rad}}$  = Calor perdido por radiação (W)

$A$  = Área ( $\text{m}^2$ )

$\sigma$  = Constante de Stefan-Boltzmann ( $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/ (m}^2\text{K}^4)$ )

$\varepsilon_f$  = Emissividade do ferro

### Perdas por evaporação

Neste estudo as perdas por evaporação foram calculadas relativamente à caleira da Linha EP5 ilustrada na Figura 2.13. A caleira é alimentada por água quente proveniente de um depósito anexo à linha de extrusão, representado na Figura 2.14. Este sistema, depósito de aquecimento mais caleira funciona em circuito fechado. O nível do depósito é controlado por um sistema de bóia e a temperatura da água do depósito é mantida por um sistema de controlo tipo ON/OFF.

G R U P O  C A B E L T E

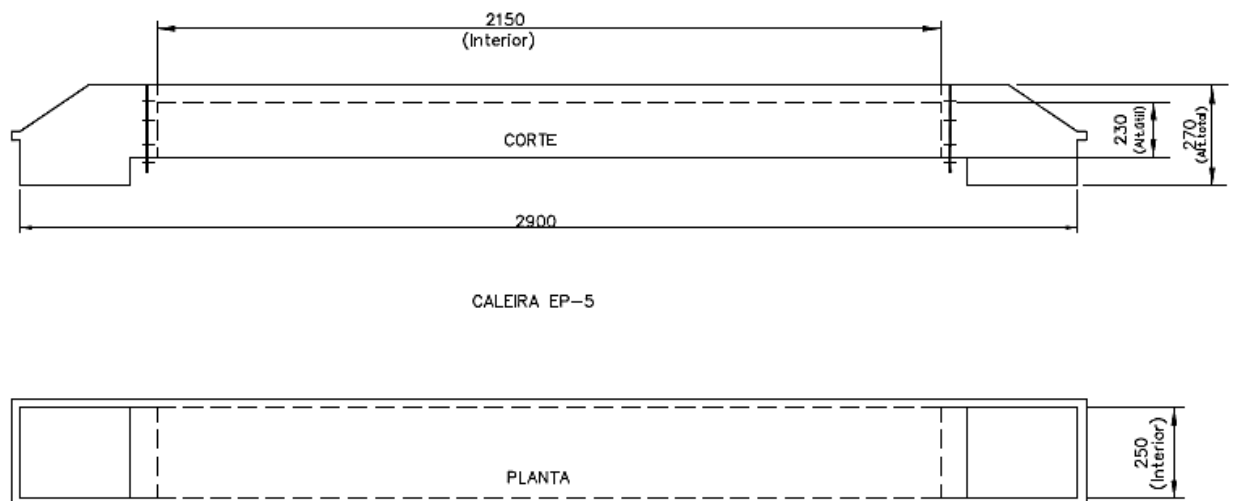
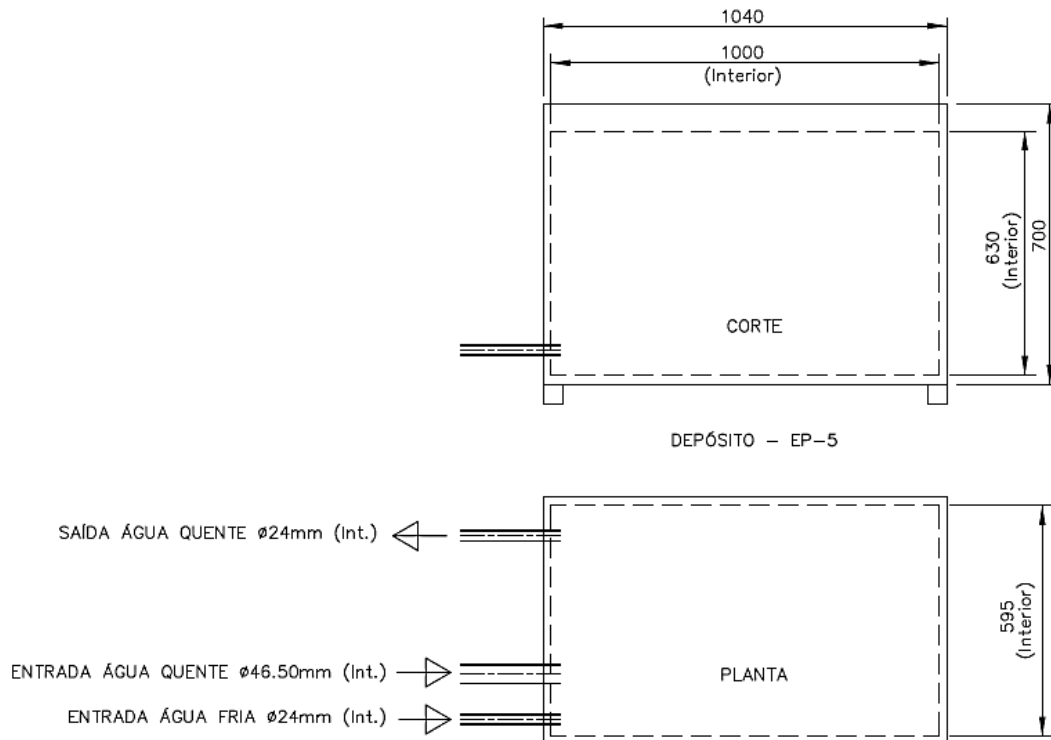


Figura 2.13 Caleira de água quente da linha EP5 (Caleira de água quente, 2011).



**Figura 2.14 Depósito de aquecimento de água que alimenta a caleira da linha EP5 (Depósito de aquecimento de água, 2011).**

As perdas térmicas da caleira da linha de extrusão, são devidas a perdas por convecção entre o fluido da superfície externa da caleira e o ar ambiente e sobretudo devidas a perdas por evaporação. Nas correlações empíricas utilizadas para o cálculo das perdas por convecção considerou-se regime estacionário e convecção natural sobre uma placa horizontal (Ozisik, 1990). Nas perdas por evaporação foi considerada a Tabela "Perdas de calor em superfícies por espelho de água" (Manual de Conservação de energia Lanifícios), apresentada no Anexo F 3.

### **3 Caracterização da situação actual**

Neste capítulo serão apresentados os resultados experimentais calculados relativamente à determinação dos consumos energéticos da linha de extrusão EP5, dos indicadores do processo, bem como das perdas térmicas inerentes a esta linha.

#### **3.1 Avaliação da situação actual**

Para fazer a monitorização da linha de extrusão EP5 foi colocado no quadro geral dessa linha um equipamento central de medida marca Schneider Electric modelo PM810 de forma a ser possível a sua monitorização, ou seja, medir a intensidade de corrente, a diferença de potencial e o factor de potência de toda a linha exceptuando a extrusora auxiliar. Na extrusora auxiliar as medições da intensidade de corrente foram efectuadas com uma pinça amperimétrica marca Fluke, modelo 36, nº de série 70507189. Foi também utilizado um fasímetro marca Unit, referência LT-PINAMP/3, de forma a ser possível a determinação do factor de potência referente à extrusora auxiliar. No caso das medições efectuadas com este equipamento, que o ISEP amavelmente emprestou, os valores considerados para o factor de potência são os valores medidos.

Para os ensaios onde foi avaliada a quantidade de material transformada, foi utilizado um equipamento de pesagem, doseador gravimétrico de marca IBE ligado nas duas extrusoras.

As medições de temperatura para os cálculos das perdas térmicas da extrusora principal foram efectuadas utilizando um termómetro digital, marca Digitron, modelo 1208, nº de série 1208106/17.

Foram também efectuados ensaios de débito às extrusoras auxiliar e principal e foi estudada a variação do factor de potência em função da rotação do fuso.

##### **3.1.1 Indicadores energéticos da Linha de Extrusão EP5**

Foram seguidos vários fabricos de cabos na operação de extrusão de revestimento interior e/ou exterior, foram analisados os vários parâmetros de funcionamento do equipamento, e os respectivos valores medidos ver (Anexo A). As medições foram realizadas nas condições normais de funcionamento da máquina. Na Tabela 3.1 está definida a ligação entre o número identificativo do cabo e a referência do cabo em estudo, forma simplista encontrada para melhor leitura dos gráficos seguidamente apresentados. Na Figura 3.1 apresentam-se os indicadores energéticos avaliados nomeadamente, o consumo específico (kgep/ton) e o custo específico (Euro./ton), (Anexo B).

### 3. Caracterização da situação actual - resultados

**Tabela 3.1 – Ligação entre o número e a referência do cabo.**

<b>Número identificativo da referência do cabo</b>	<b>Referência do cabo</b>
1	RHZ1-OL 12/20 1x150
2	LSVAV 4x35
3	LVAV 3x185+1x95 (BE)
4	U-1000 4x240
5	LXV 3x185+1x95
6	XAV 3x150+1x70
7	LXHIOV 1x240/16 18/30 kV
8	LVAV 3x185+1x95 (BI)
9	U-1000 RO2V 5G50
10	U-1000 R2V XV 4x50
11	U-1000 ARO2V 4x240
12	U-1000 5G35
13	U-1000 4x35
14	U-1000 1x150
15	U-1000 ARO2V 1x400
16	RV 1,8/3 kV 1x400K AL

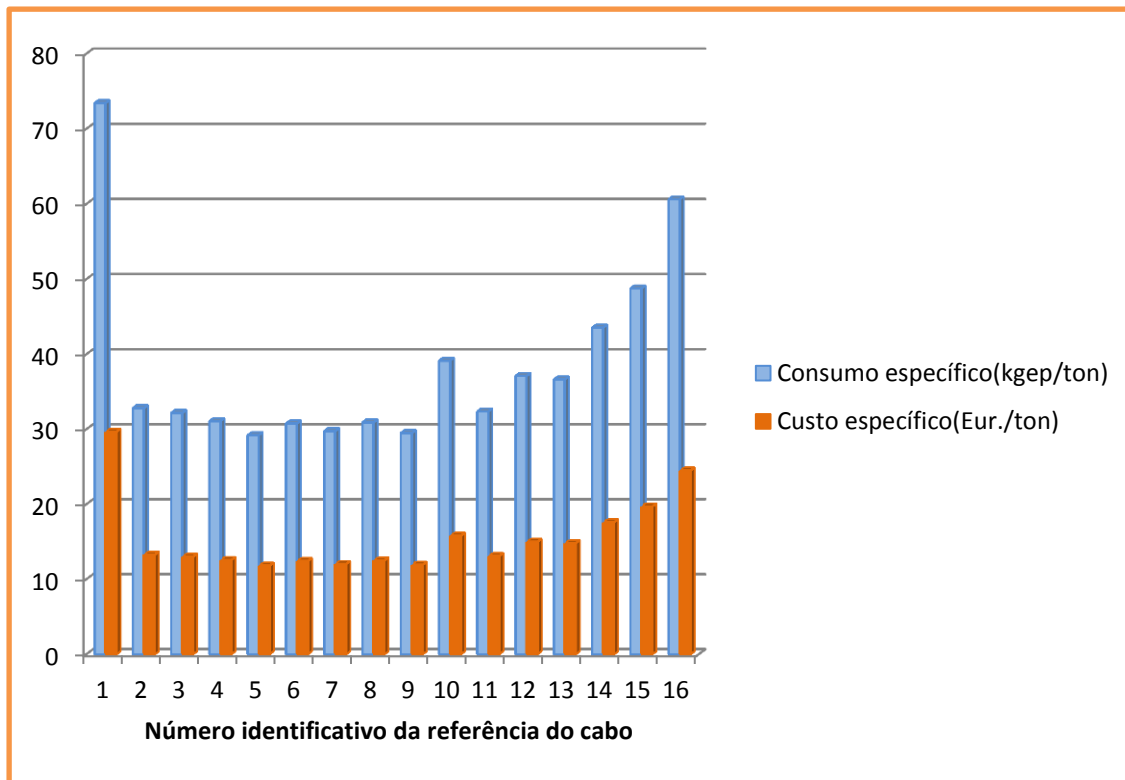


Figura 3.1 Consumo específico e custo específico para o processo de extrusão na linha EP5.

Pela análise da Figura 3.1, verifica-se que para uma dada referência de cabo o consumo específico e o custo específico variam no mesmo sentido, ou seja, se o indicador consumo específico apresentar um valor elevado, o custo específico também apresenta um valor elevado. O cabo com número indicativo 1, que corresponde a ter uma bainha exterior em PE, é o cabo que maiores valores apresenta relativamente a estes dois indicadores, sendo seguido pelos cabos (14, 15 e 16) de dupla extrusão, em que o isolamento é feito usando PE reticulado (mistura de PE com catalisador).

#### 3.1.2 Sobre consumo de material plástico

No cálculo deste indicador é utilizado o sistema de pesagem IBE anexado às linhas de extrusão, que pesa todo o material transformado. No início da produção as balanças são colocadas a zero e no final da produção é anotado o valor obtido. A fórmula utilizada no cálculo do indicador de sobre consumos é a Equação 3.1.

$$\text{Indicador de sobre consumo (\%)} = (m_c - m_p) * \frac{100}{m_p} \quad \text{Equação 3.1}$$

### 3. Caracterização da situação actual - resultados

Em que:

$m_c$  = Quantidade consumida no fabrico (kg)

$m_p$  = Quantidade prevista (kg)

A quantidade prevista é a quantidade indicada na gama de fabrico, que serve de base para a determinação do custo do produto em causa, logo este indicador deveria ter como limite máximo um valor igual a zero, os valores obtidos estão representados na Figura 3.2, (Anexo B).

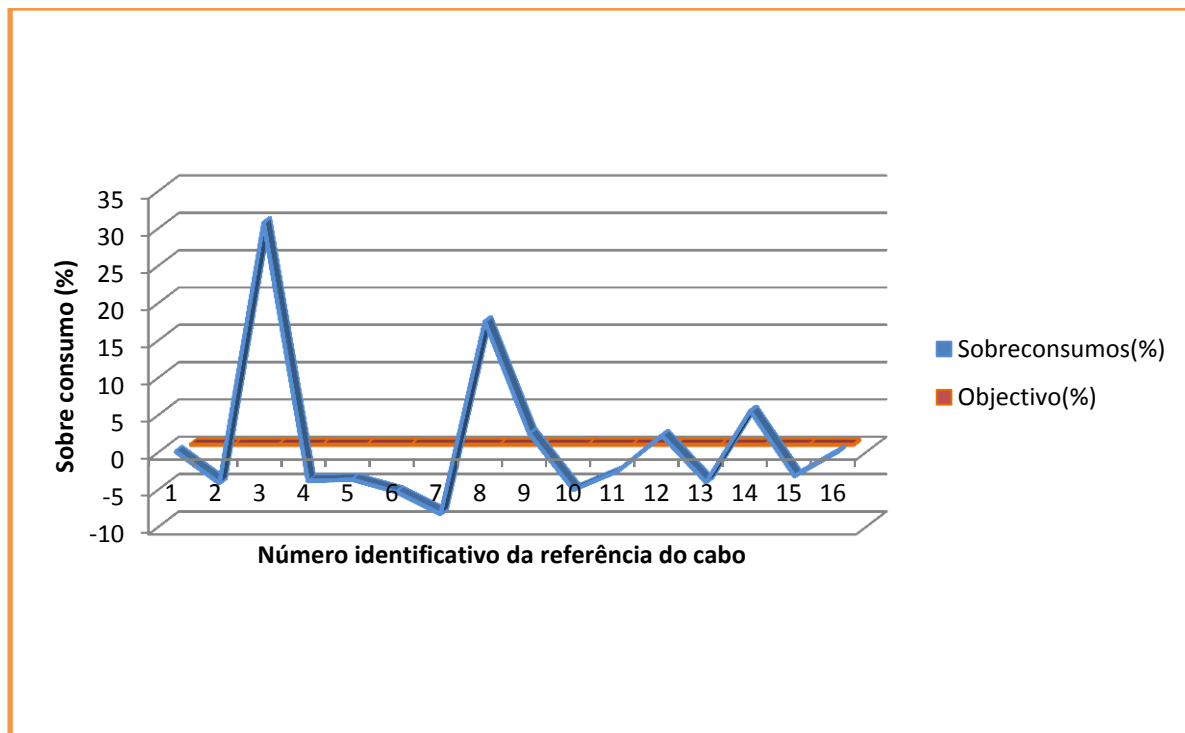


Figura 3.2 Indicador de sobre consumo.

Pela análise da Figura 3.2, verifica-se que os cabos com os números indicativos 3 e 8, correspondem aos fabricos que maiores sobre consumo de material plástico tiveram. A principal causa dos elevados valores de sobre consumo, provém do facto dos cabos apresentarem nesta etapa de fabrico, valores dimensionais superiores ao previsto, que originam maior consumo de material plástico, pois esta operação de revestimento tem valores dimensionais de norma a cumprir. Por exemplo, o cabo nº 8 após operação de cableamento apresentava um diâmetro igual a 43 mm, quando o diâmetro de cabo final previsto era de 42,70 mm.

### 3. Caracterização da situação actual - resultados

Este indicador está monitorizado com um sistema de controlo gravimétrico, sistema IBE, que controla a quantidade de material (kg) por metro de cabo. Logo este indicador depende directamente dos valores dimensionais iniciais do cabo e da densidade do material.

#### 3.1.3 Desperdício em purgas

No cálculo deste indicador é utilizado o sistema de pesagem IBE anexado às linhas de extrusão, que pesa todo o material transformado. No início da limpeza da (s) extrusora (s) as balanças são colocadas a zero e é contabilizado todo o material consumido nesta operação que precede o fabrico do cabo. A fórmula utilizada no cálculo do indicador desperdícios em purgas é a Equação 3.2.

$$\text{Indicador de desperdício em purgas (\%)} = m_{pu} * \frac{100}{m_c} \quad \text{Equação 3.2}$$

Em que:

$m_{pu}$  = Quantidade de purgas (kg)

É importante realçar que nas estruturas o valor estimado é de 5%, o que significa que sempre que este valor for superior a empresa está a ter prejuízo, estes valores estão representados na Figura 3.3, (Anexo B).

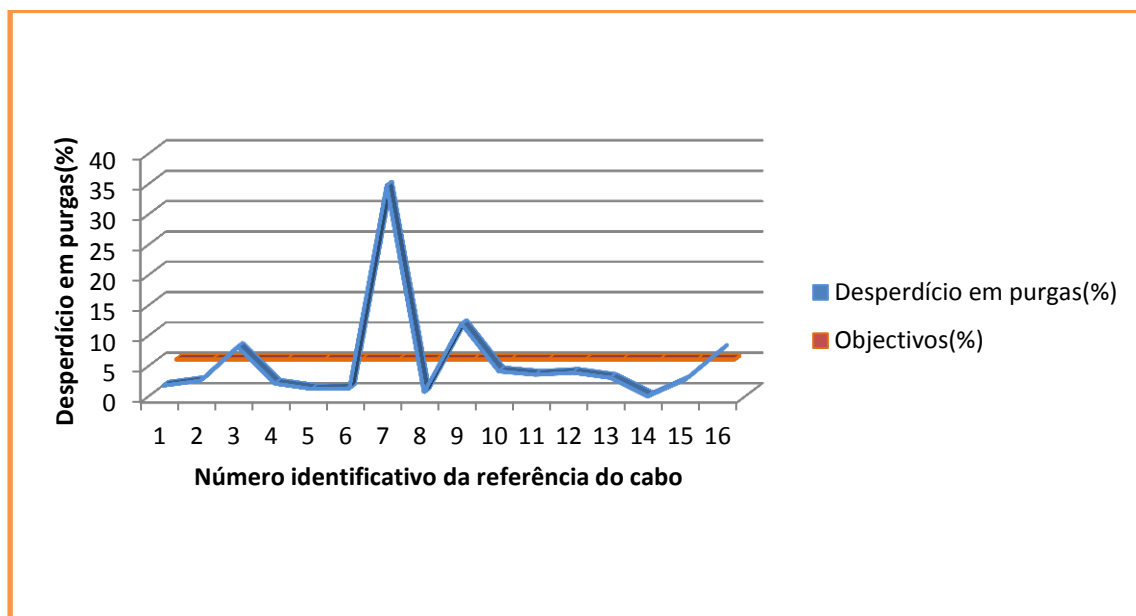


Figura 3.3 Indicador de desperdício em purgas.

Pela análise da Figura 3.3, verifica-se que os cabos com os números indicativos 7 e 9, correspondem aos fabricos que maior desperdício em purgas tiveram. Isto explica-se pelo facto de nos dois casos, na fase de preparação de fabrico existir a necessidade de efectuar uma mudança de material relativamente ao fabrico anterior, facto este agravado pelo facto dos comprimentos de fabrico ser pequeno (caso nº 7 igual a 873 m e caso nº 9 igual a 2000 m). Os comprimentos de fabrico não foram suficientes para que ocorresse a diluição dos consumos referentes à fase de preparação e arranque do fabrico.

#### 3.1.4 Indicador de velocidade

É cronometrado o tempo (min) que é necessário para a produção de um determinado fabrico (m), valor este que é denominado como velocidade real. A fórmula utilizada no cálculo do indicador de velocidade é a Equação 3.3. Estes valores estão representados na Figura 3.4.

$$\text{Indicador de velocidade} - T_v (\%) = V_r * \frac{100}{V_p} \quad \text{Equação 3.3}$$

Em que:

$V_r$  = Velocidade real (m/min)

$V_p$  = Velocidade prevista (m/min)

Por outro lado a velocidade prevista é a velocidade contemplada na ordem de fabrico. Desvios do valor real relativamente aos valores previstos vão influenciar directamente o rendimento operacional global (ROG), calculado pela Equação 3.4 (Cabelte, Fórmulas).

$$\text{ROG} = T_o * T_Q * T_v \quad \text{Equação 3.4}$$

Em que:

ROG = Rendimento operacional global (%)

$T_o$  = Taxa de ocupação (%)

$T_Q$  = Taxa de qualidade (%)

$T_v$  = Taxa de velocidade (%)

O valor deste parâmetro deve situar-se nos 100%, e como podemos verificar pela Equação 3.4 variações na taxa de velocidade influenciam directamente o ROG. Os valores obtidos são apresentados na Figura 3.4, (Anexo B).



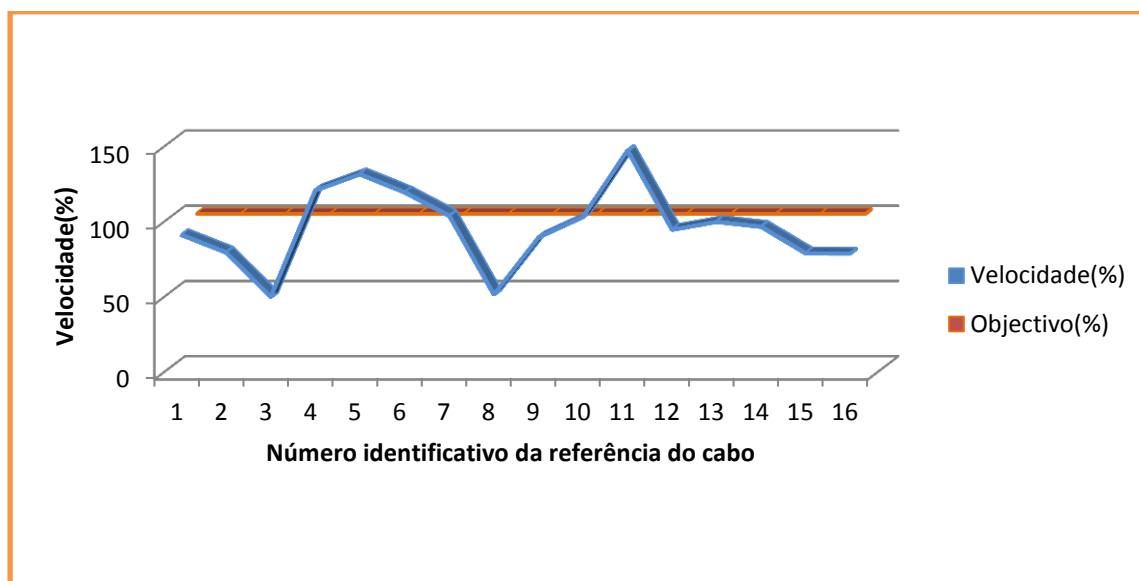


Figura 3.4 Indicador de velocidade.

Pela análise da Figura 3.4, verifica-se que em algumas situações não se consegue atingir o valor pretendido. Isto deve-se ao facto de apesar dos comprimentos totais pedidos na ordem de fabrico serem de ordem de grandeza considerável, os fraccionamentos de comprimentos requeridos, implicam reduções de velocidade na fase de mudança de bobina, que vão influenciar directamente o indicador de velocidade.

#### 3.1.5 Caracterização dos materiais utilizados na extrusora principal

Para a caracterização dos materiais utilizou-se a extrusora principal, com escoamento livre, ou seja sem ter uma cabeça de extrusão acoplada. Foram seleccionados 4 perfis de temperaturas para a extrusora principal no caso dos ensaios com PVC e 3 perfis no caso do PE. Foi medido o débito em cada ensaio utilizando o equipamento de pesagem marca IBE associado à extrusora principal. A potência obtida foi lida no equipamento central de medida marca Schneider Electric modelo PM810. Durante todos os ensaios só a extrusora principal estava a funcionar, estando desligado todo o restante equipamento associado à linha. Na medição da temperatura do fundido foi utilizado um termómetro digital, marca Digitron, modelo 1208, nº de série 1208106/17.

Na Figura 3.5 podemos observar a variação da entalpia do fundido em função da variação da temperatura, para diferentes materiais (PVC I2000, PVC ICI, PE C-240, mistura de 80% PE C-240 + 20% LDPE), (Anexo C).

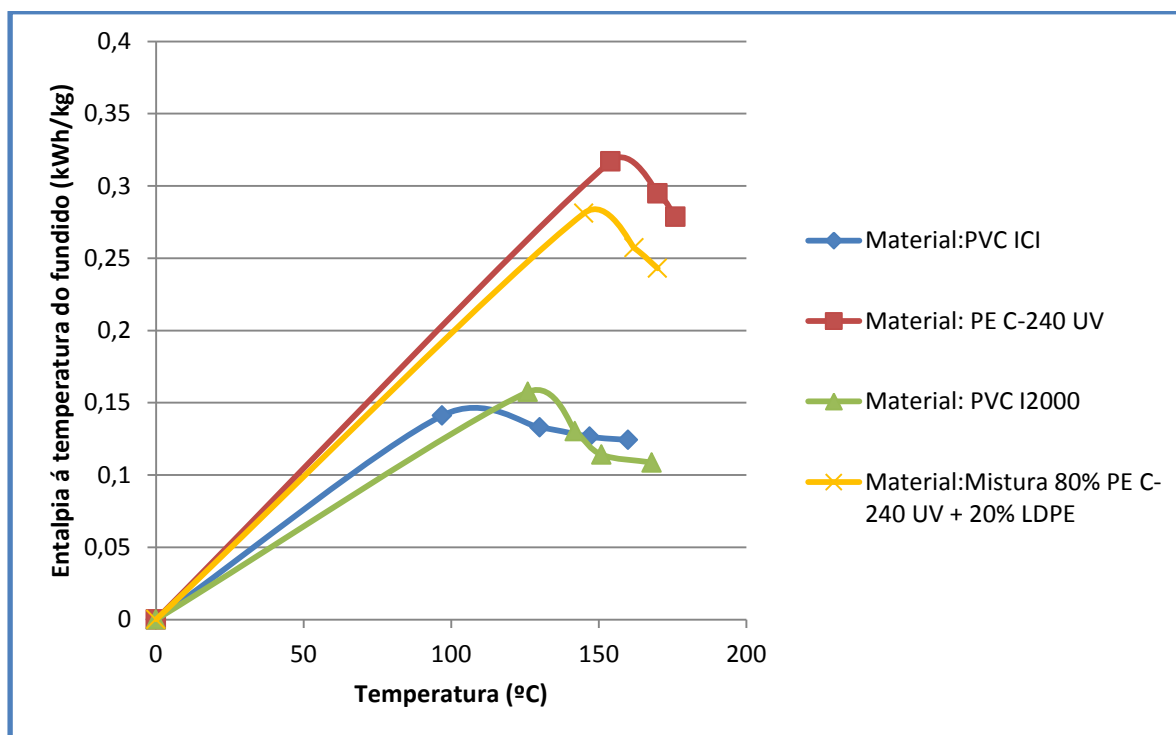


Figura 3.5 Variação da entalpia do fundido em função da variação da temperatura, para diferentes materiais.

Pela análise da figura 3.5, verifica-se que as duas referências de PE apresentam valores de entalpia superiores e necessitam de temperaturas de trabalho mais elevadas, do que as duas referências de PVC.

#### 3.1.6 Extrusora auxiliar e principal

A principal função de uma extrusora consiste em plastificar e homogeneizar o material isolante que no nosso estudo pode ser PVC ou PE.

As extrusoras auxiliar e principal da linha EP5 são constituídas por:

- Tremonha de alimentação equipada com aspirador, doseador gravimétrico marca IBE e sondas de nível;

- Fuso, que promove o trabalho e o transporte do material em plastificação;

No caso da extrusora auxiliar marca Tecnocable, as características do fuso são, diâmetro do fuso igual a 90 mm e comprimento do fuso igual a 20 vezes o diâmetro (20D).

No caso da extrusora principal marca Mapré, as características do fuso são, diâmetro do fuso igual a 150 mm e comprimento do fuso igual a 24 vezes o diâmetro (24D).

- Câmara, cilindro fixo com 6 zonas de aquecimento dentro do qual se dá o movimento de rotação do fuso.

### 3. Caracterização da situação actual - resultados

A plastificação é obtida obrigando o material de revestimento a ser transportado pelo fuso dentro de uma câmara aquecida desde a alimentação até à saída.

#### 3.1.6.1 Variação do débito, do $\cos\phi$ e da potência em função da variação da rotação do fuso da extrusora auxiliar

Os ensaios efectuados foram na situação de cabeça de dupla extrusão acoplada à extrusora.

Os materiais utilizados foram PVC de referência PVC BEP e uma mistura de 75% de PE referência PE 4423, mais 5% de catalisador PE LE 4476 e 20% de LDPE.

Foi medido o débito, o  $\cos\phi$  e a potência em função da variação da rotação do fuso da extrusora auxiliar, com os dois materiais normalmente utilizados pela mesma, estes valores podem ser observados nas Figuras 3.6, 3.7 e 3.8.

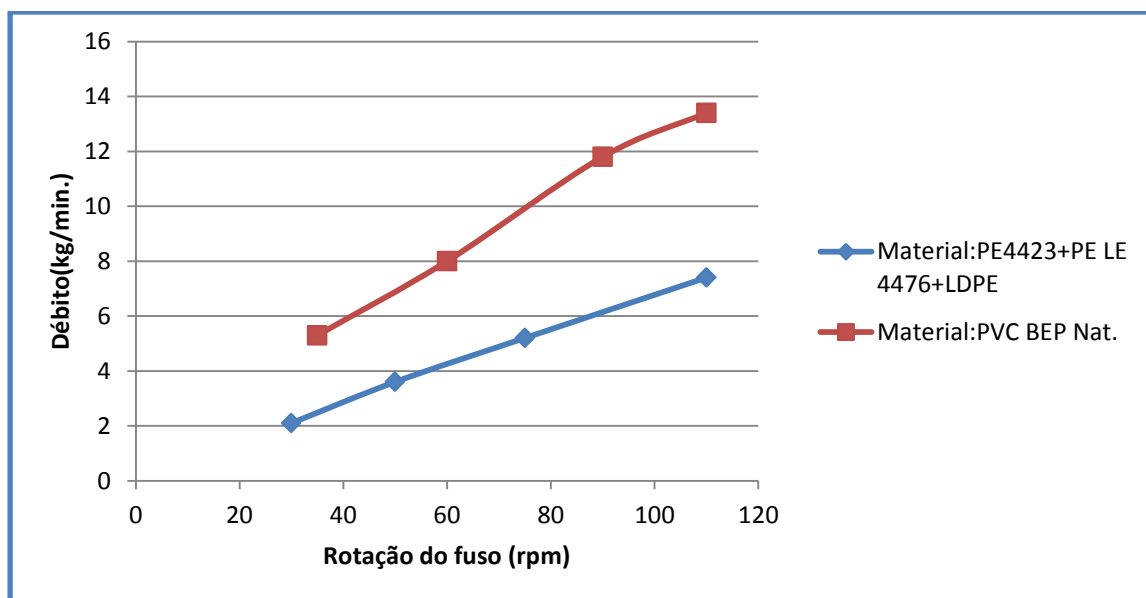


Figura 3.6 Variação do débito em função da rotação do fuso da extrusora auxiliar.

Pela análise da figura 3.6 podemos observar que, o débito aumenta à medida que a rotação do fuso aumenta e que, para a mesma rotação do fuso atingimos sempre valores de débito superiores quando estamos a trabalhar o material de referência PVC BEP.

### 3. Caracterização da situação actual - resultados

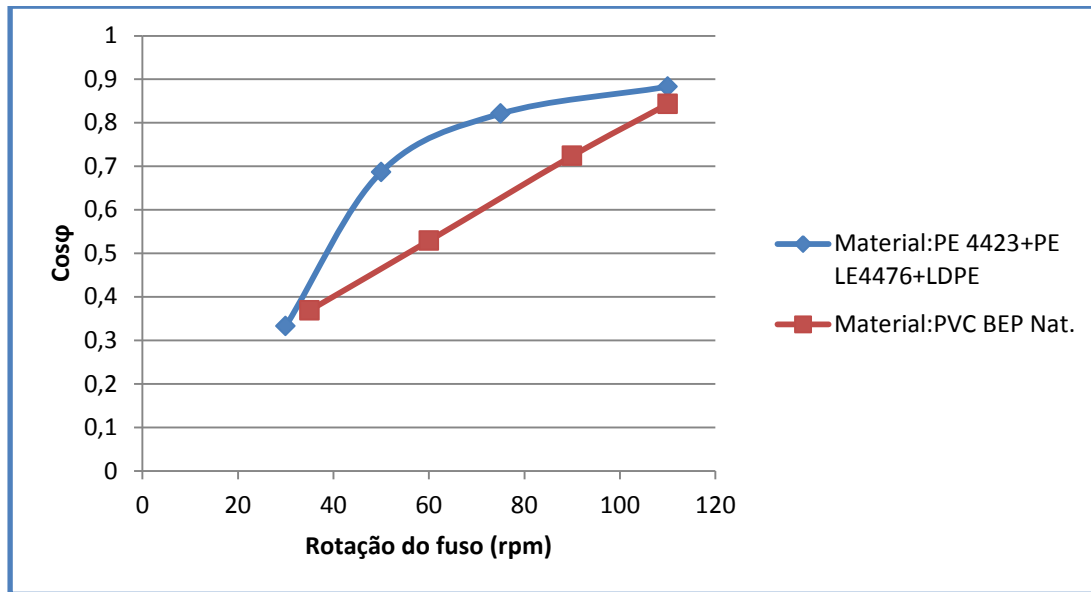


Figura 3.7 Variação do  $\cos \varphi$  em função da rotação do fuso da extrusora auxiliar.

Pela análise da Figura 3.7, verifica-se que para os dois materiais o  $\cos \varphi$  aumenta à medida que aumenta a rotação do fuso. Para os menores e maiores valores de rotação do fuso, os dois materiais apresentam aproximadamente os mesmos valores de  $\cos \varphi$ . Para valores intermédios de rotação de fuso, o material de referência mistura de 75% PE 4423 mais 5% PE LE 4476 mais 20% de LDPE, apresenta valores de  $\cos \varphi$  superiores.

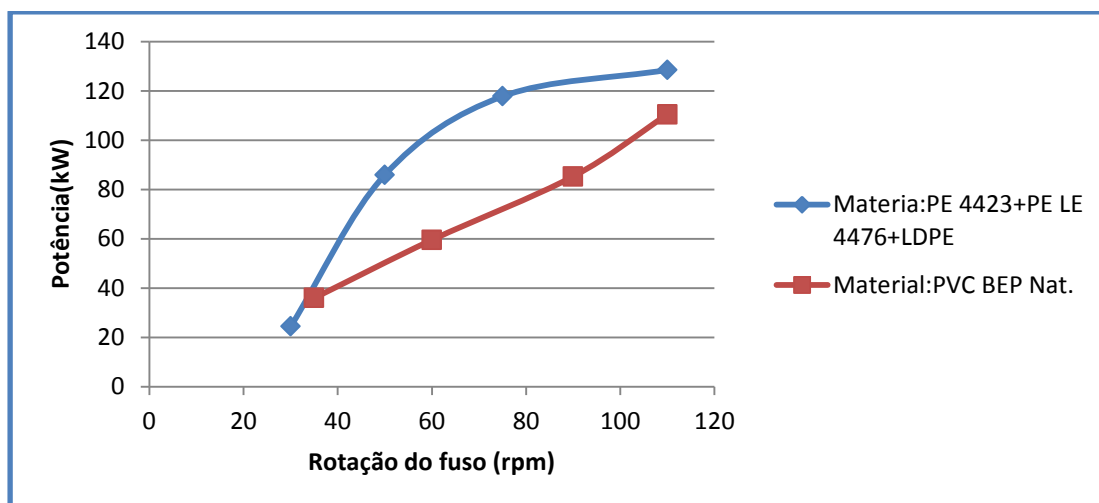


Figura 3.8 Variação da potência em função da rotação do fuso da extrusora auxiliar.

Pela análise da Figura 3.8, verifica-se que para os dois materiais a potência aumenta à medida que aumenta a rotação do fuso. Os dois materiais apresentam aproximadamente os mesmos valores de potência, para os menores e os maiores valores de rotação do fuso. Para valores intermédios de rotação de fuso, o material de referência mistura de 75% PE 4423 mais 5% PE LE 4476 mais 20% de LDPE, apresenta valores de potência superiores.

#### 3.1.6.2 Variação do débito, do $\cos\phi$ e da potência em função da variação da rotação do fuso da extrusora principal

Os ensaios efectuados foram na situação de cabeça de extrusão (cabeça dupla e cabeça simples) acoplada à extrusora.

Os materiais utilizados foram PVC de referência PVC I2000 e uma mistura de 80% de PE referência C-240 UV, mais 20% de LDPE.

As condições de ensaio foram:

- Material de referência PVC I2000 e cabeça de dupla extrusão acoplada;
- Material: mistura de 80% de PE C-240 UV mais 20% LDPE, com a cabeça simples de extrusão acoplada;
- Material de referência PVC I2000 e cabeça simples de extrusão acoplada.

Foi medido o débito, o  $\cos\phi$  e a potência em função da variação da rotação do fuso da extrusora principal. Os valores obtidos podem ser observados nas Figuras 3.9, 3.10 e 3.11.

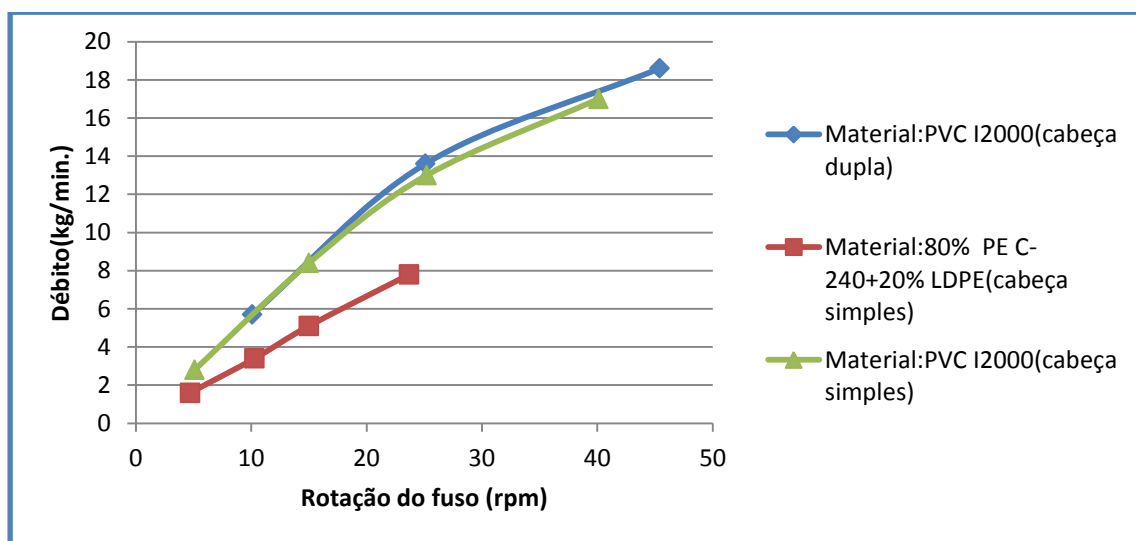


Figura 3.9 Variação do débito em função da rotação do fuso da extrusora principal.

Pela análise da Figura 3.9, verificamos que o débito aumenta à medida que aumenta a rotação do fuso. No caso dos ensaios com PVC I2000, verificamos que a alteração de cabeça acoplada (cabeça dupla ou cabeça simples), não tem influência no débito obtido. No entanto, verificamos que o material utilizado tem influência directa no valor de débito obtido, pois para as mesmas condições de rotação do fuso, o débito é maior quando estamos a utilizar o material de referência PVC I2000. Com a mistura 80% de PE C-240 UV mais 20% de LDPE, só conseguimos trabalhar até aproximadamente 24 rpm, pois a pressão exercida pelo material não permite trabalhar a rotações superiores.

### 3. Caracterização da situação actual - resultados

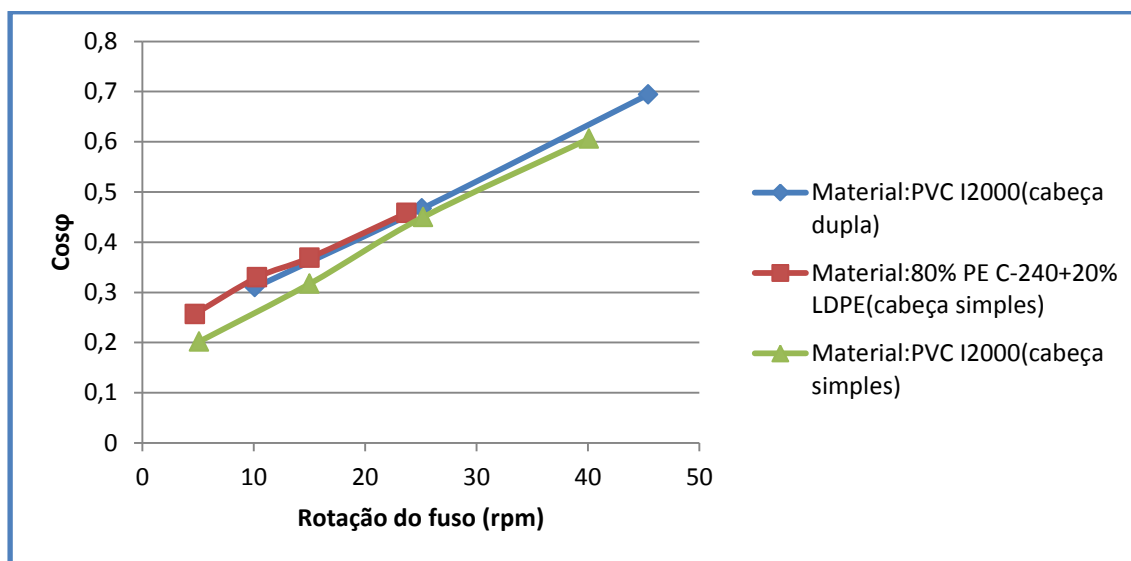


Figura 3.10 Variação do  $\cos\phi$  em função da rotação do fuso da extrusora principal.

Pela análise da Figura 3.10, verificamos que o  $\cos\phi$  aumenta à medida que aumenta a rotação do fuso. Nas três condições de ensaio os valores obtidos de  $\cos\phi$  para as mesmas rotações de fuso, são praticamente da mesma ordem de grandeza às 24 rpm.

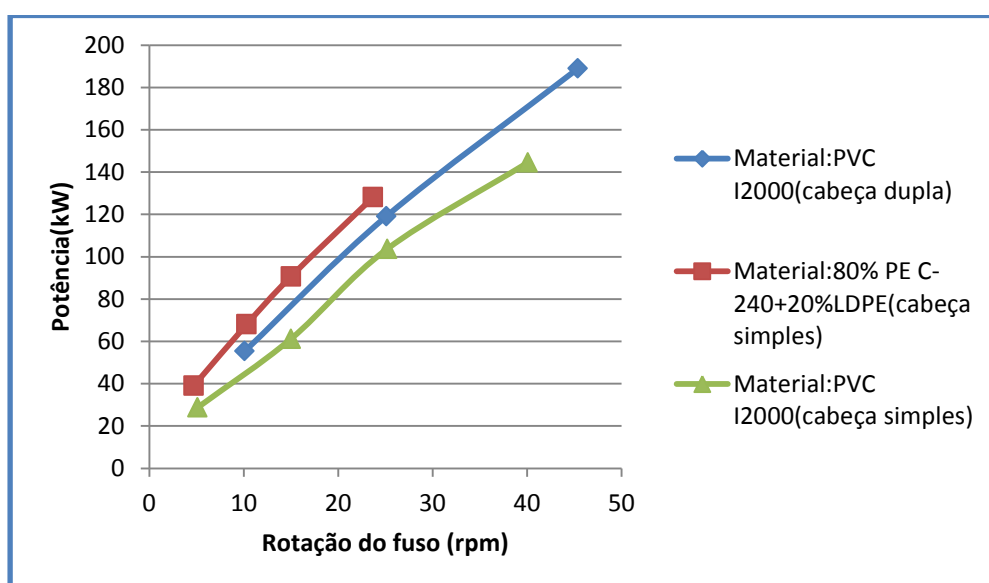


Figura 3.11 Variação da potência em função da rotação do fuso da extrusora principal.

Pela análise da Figura 3.11, verificamos que a potência aumenta à medida que aumenta a rotação do fuso. A mistura 80% PE C-240 UV mais 20% LDPE para os mesmos valores de rotação de fuso, apresenta valores de potência mais elevados relativamente ao PVC de referência PVC I2000. Podemos também verificar que no caso do material de referência PVC I2000, não é indiferente a tipologia da cabeça de extrusão, pois verificamos que

quando se utiliza a cabeça de extrusão dupla, para a mesma rotação do fuso, a potência medida apresenta valores mais elevados do que quando estamos a trabalhar com a cabeça de simples extrusão.

#### 3.1.7 Perdas térmicas da extrusora principal

Relativamente às perdas térmicas, só foi feito o estudo para a extrusora principal, uma vez que esta é sempre utilizada no fabrico de todos os cabos.

Devido à geometria apresentada pela blindagem da extrusora principal (Figura 2.12), as perdas totais por convecção têm de ser calculadas considerando duas placas verticais inclinadas e uma placa horizontal.

As perdas por radiação na mesma extrusora são calculadas segundo a Equação 2.16.

As perdas por convecção natural sobre uma placa horizontal e vertical são calculadas pela Equação 2.15, sendo o coeficiente pelicular externo de transferência de calor calculado pela Equação 2.14, estes valores podem ser observados na Tabela 3.2.

No caso das perdas por convecção natural sobre uma placa vertical inclinada, aqui foram consideradas as correlações previstas para a convecção natural sobre uma placa vertical. (Ozisik, 1990), onde o número de Nusselt é calculado através da Equação 2.12.

As perdas térmicas totais da extrusora principal, são o somatório das perdas por convecção mais as perdas por radiação. (Anexo F)

**Tabela 3.2 Perdas térmicas totais**

Valores obtidos	Placa horizontal	Placa vertical
Coeficiente pelicular externo de transferência de calor ( $W/m^2K$ )	4,2	3,6
Área de transferência de calor ( $m^2$ )	1,5	1,6
Temperatura exterior da blindagem (K)	324,2	324,2
Temperatura do ar (K)	298,0	298,0
$q_{convecção}$ (W)	161,6	153,3
$q_{convecção}$ total (W)	468,2	
$q_{radiação}$ (W)	193,5	
$q_{total}$ (W)	661,7	

#### 3.1.8 Perdas por convecção e evaporação na caleira

A água existente no depósito é aquecida por intermédio de 7 resistências de 7 A ligadas em paralelo. A energia consumida durante o aquecimento da água, considerando 3 temperaturas finais de aquecimento está descrita na Figura 3.12.

### 3. Caracterização da situação actual - resultados

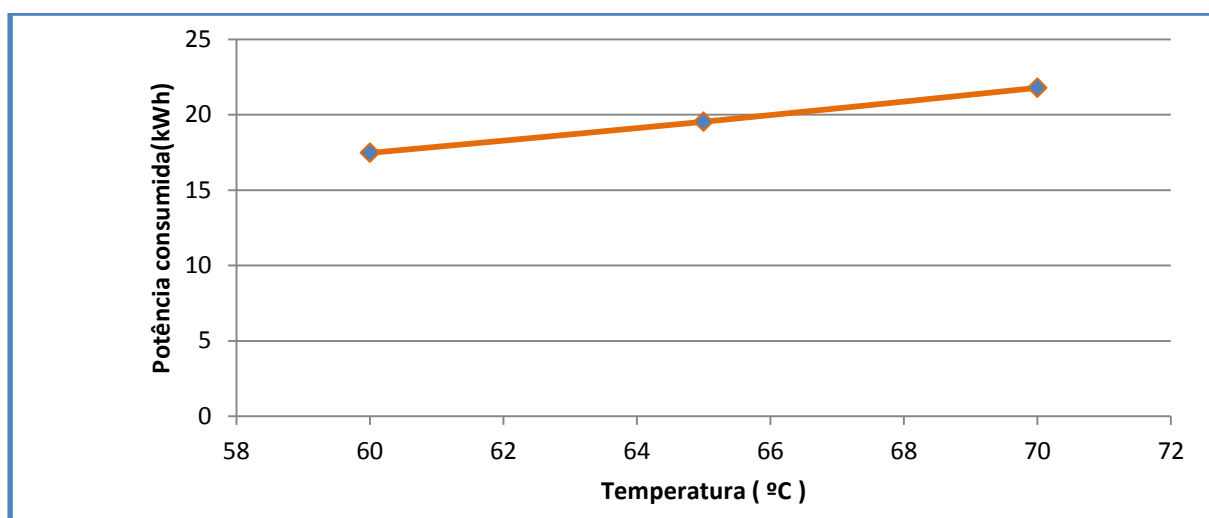


Figura 3.12 Energia consumida para aquecimento da água.

Analisando a Figura 3.12, observa-se que a energia consumida para aquecimento da água, aumenta à medida que a temperatura final da água também aumenta.

As perdas térmicas da caleira da linha de extrusão EP5, são devidas ao somatório das perdas por convecção natural sobre uma placa horizontal, entre o fluido da superfície externa da caleira e o ar ambiente e sobretudo a perdas por evaporação, conforme se pode verificar na Figura 3.13 (Anexo F).

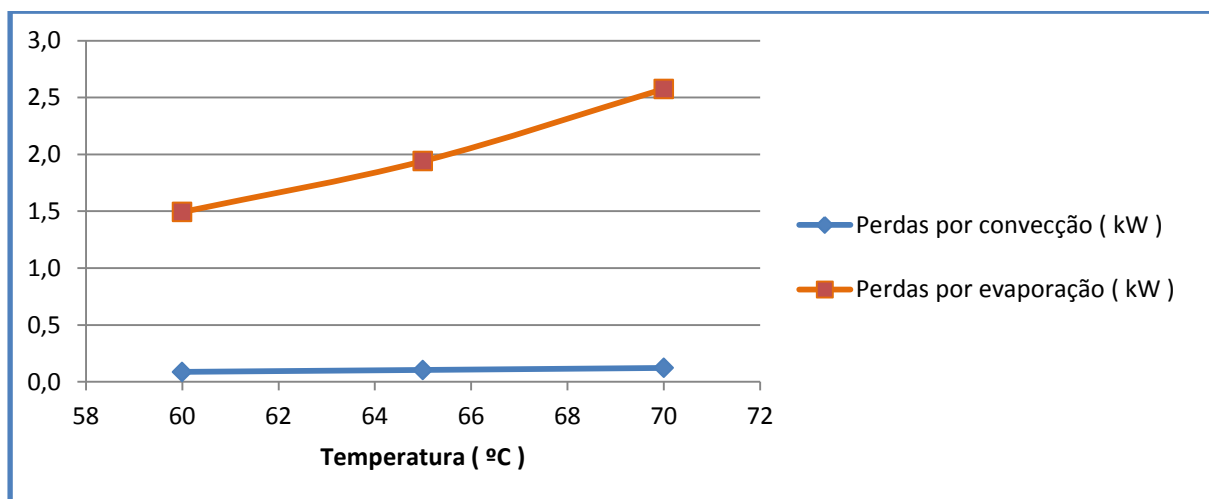


Figura 3.13 Perdas por convecção e evaporação na caleira da linha EP5.

Pela análise da figura 3.13, verifica-se que as perdas por convecção natural e as perdas por evaporação, aumentam à medida que a temperatura do fluido (água) também aumenta. As perdas por convecção são praticamente desprezáveis relativamente às perdas por evaporação, para as três condições de ensaio.



### 4 Optimização

A utilidade energética em destaque usada na Cabelte é a energia eléctrica. Uma vez que foi analisada a linha de extrusão EP5 e a caracterização da situação actual foi apresentada no capítulo 3, então as propostas de optimização energética e de processo correspondem a esta linha da Cabelte.

#### 4.1 Análise e optimização dos indicadores energéticos e de processo obtidos

##### Custo específico

Pela análise da Figura 3.1 podemos verificar que as referências de cabos correspondentes aos maiores consumos, são os cabos nº 1, 14, 15 e 16.

A variação do custo específico considerando a situação actual e a situação proposta optimizada está apresentada na Figura 4.1.

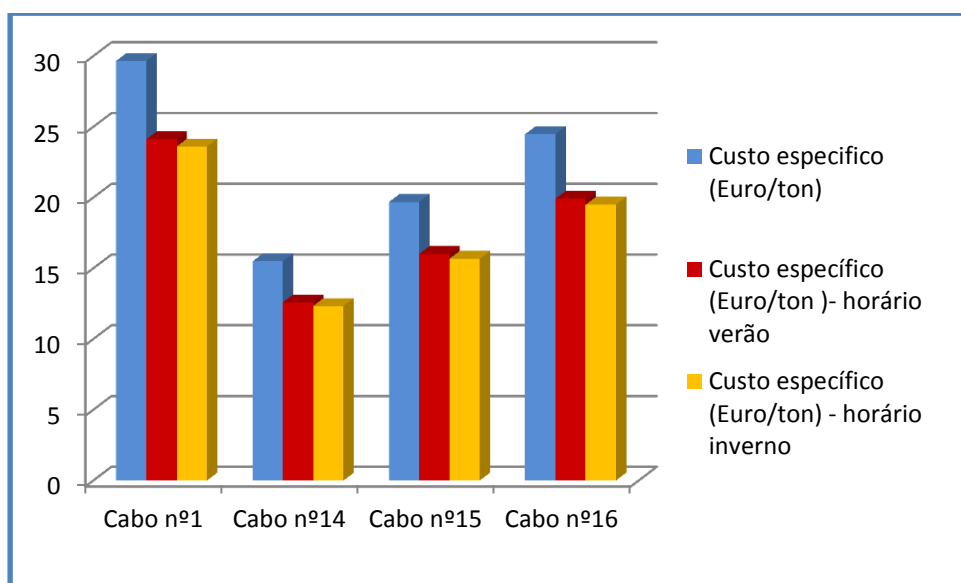


Figura 4.1 Variação do custo específico

O regime tarifário em vigor na Cabelte é um regime tetra horário em regime de ciclo semanal.

Conforme se pode verificar pela análise da Figura 4.1, se o fabrico dos cabos com maior custo específico (1,14, 15 e 16) fosse efectuado nas horas de menor custo energético, ou seja no período de 6ª feira 12h 15 m até 2ª feira 09h 15 m (horário de verão), ou no período de 6ª feira das 21h 00 m até 2ª feira 09h 30 m (horário de inverno), os custos específicos relativamente às duas situações propostas diminuiriam e os ganhos efectivos em termos de

#### 4. Optimização

custo específico seriam de 18,7% para o horário de verão e de 20,4% para o horário de inverno (ver anexo G). Uma metodologia diferente no planeamento da produção, seria o suficiente para a obtenção dos resultados otimizados.

##### Consumo específico

Nas figuras 4.2 e 4.3 pode-se verificar a variação do consumo específico (esta variável depende do débito, da potência e do  $\cos\phi$ ), em função da variação da rotação do fuso, para as duas extrusoras em estudo.

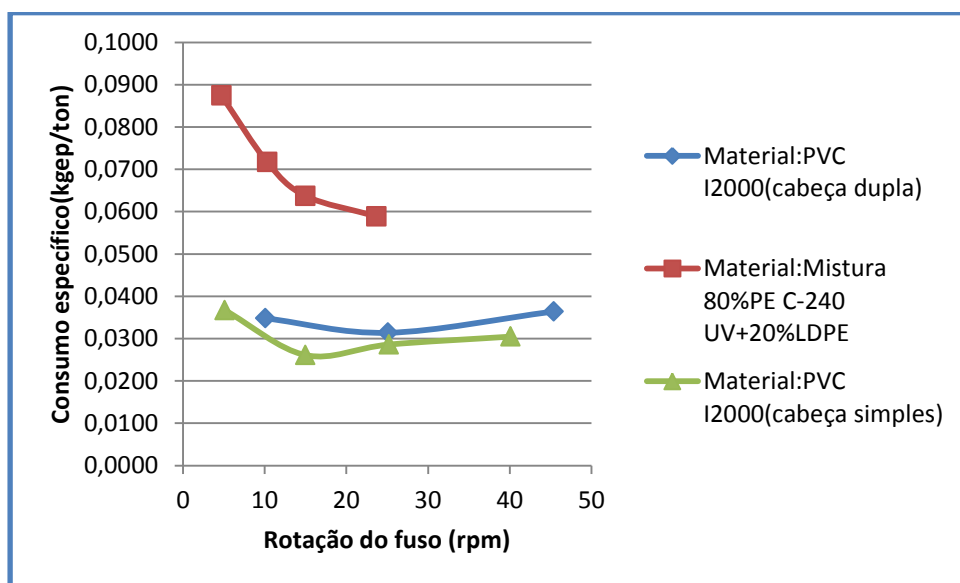


Figura 4.2 Variação do consumo específico em função da rotação do fuso da extrusora principal.

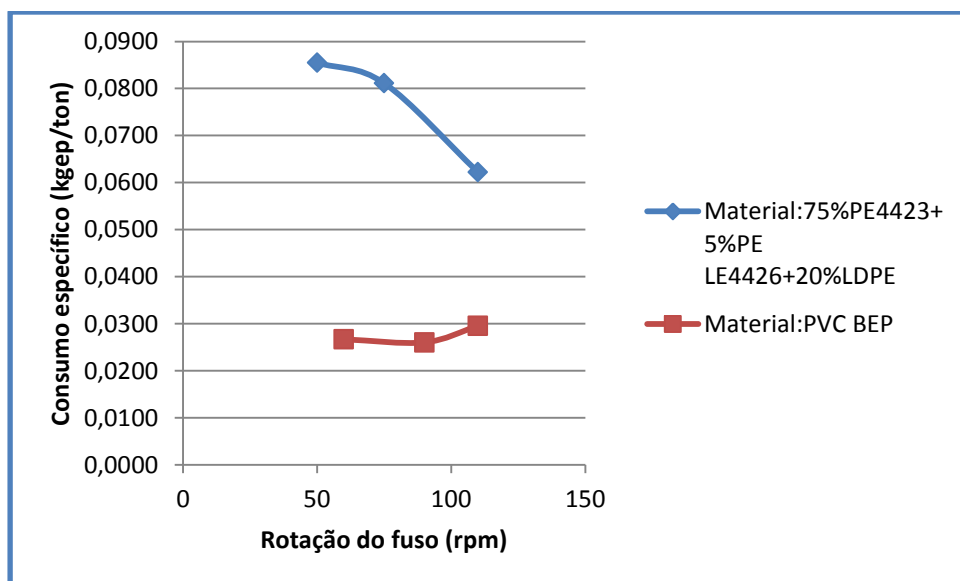


Figura 4.3 Variação do consumo específico em função da rotação do fuso da extrusora auxiliar.

Pela análise das Figuras 4.2 e 4.3 verifica-se que o consumo específico tendencialmente diminui à medida que aumenta a rotação do fuso, até se atingir o valor de rotação óptimo, a partir do qual esta tendência se inverte. No caso da extrusora principal o valor óptimo de rotação do fuso (correspondente aos valores mais baixos de consumo específico) seria aproximadamente de 24 rpm para os materiais PVC I2000 com cabeça dupla acoplada e mistura de 80% PE C-240 UV + 20% LDPE, e de 15 rpm no caso de PVC I2000 com cabeça simples acoplada, e na extrusora auxiliar seria de 110 rpm para a mistura 75% PE 4423 + 5% de catalisador PE 4476 + 20% de LDPE, e de 90 rpm no caso de estarmos a utilizar o material PVC BEP.

### **Sobre consumo**

Pela análise da Figura 3.2, verifica-se que os cabos com os números indicativos 3 e 8, correspondem aos fabricos que maiores sobre consumo de material plástico tiveram. A principal causa dos elevados valores de sobre consumo, provém do facto dos cabos apresentarem nesta etapa de fabrico, valores dimensionais superiores ao previsto, que originam maior consumo de material plástico, pois esta operação de revestimento tem valores dimensionais de norma a cumprir. Este indicador está monitorizado com um sistema de controlo gravimético, sistema IBE, que controla a quantidade de material (kg) por quantidade métrica de cabo. Logo este indicador depende directamente dos valores dimensionais iniciais do cabo e da densidade do material.

De forma a optimizarmos este indicador, terá de haver um controlo dimensional muito rigoroso em todas as etapas anteriores de fabrico e os materiais plásticos terão de ser controlados ao nível da sua densidade.

### **Desperdício em purgas**

Pela análise da Figura 3.3, verifica-se que os cabos com os números indicativos 7 e 9, correspondem aos fabricos que tiveram maior desperdício em purgas. Esta situação só pode ser melhorada se no planeamento da produção, se fizerem agrupamentos de fabricos semelhantes para que, os consumos de materiais na fase de preparação e arranque se diluam na fase de fabricação, de forma a não ultrapassarmos os valores definidos na estrutura (5%).

Com um planeamento adequado pode-se inclusive baixar o valor proposto obtendo-se uma diminuição de geração de resíduos, neste caso as purgas, e consequente diminuição nos consumos energéticos.

### Indicador de velocidade

Pela análise da Figura 3.4, verifica-se que em muitas situações não se consegue atingir o valor pretendido. Isto deve-se ao facto de apesar dos comprimentos totais pedidos na ordem de fabrico serem de grandeza considerável, os fraccionamentos de comprimentos requeridos, implicam reduções de velocidade na fase de mudança de bobina, que vão influenciar directamente o indicador de velocidade. De forma a melhorar este indicador os comprimentos médios de fabrico deviam ser optimizados, de forma a diminuir as reduções de velocidade para os valores estipulados e até ser-se ambicioso no sentido da sua melhoria. Este valor influencia directamente o rendimento operacional global (ROG).

## 4.2 Análise de perdas e sugestões de melhoria

### Perdas eléctricas

Foram calculadas as perdas por efeito Joule e foi calculado o dimensionamento da bateria de condensadores de forma a ser corrigida a energia reactiva da linha. O cálculo estimado da carga do motor da extrusora principal, serviu apenas para confirmar os baixos factores de potência obtidos.

### Perdas dos condutores por efeito Joule

As perdas dos condutores por efeito Joule, foram estudadas para as duas extrusoras da EP5 e estão indicadas na figura 4.4. As perdas totais estão quantificadas em euros e correspondem a 1,1% do valor anual de consumo da linha EP5. No Anexo G estão indicados os valores que serviram de base para o cálculo das perdas.

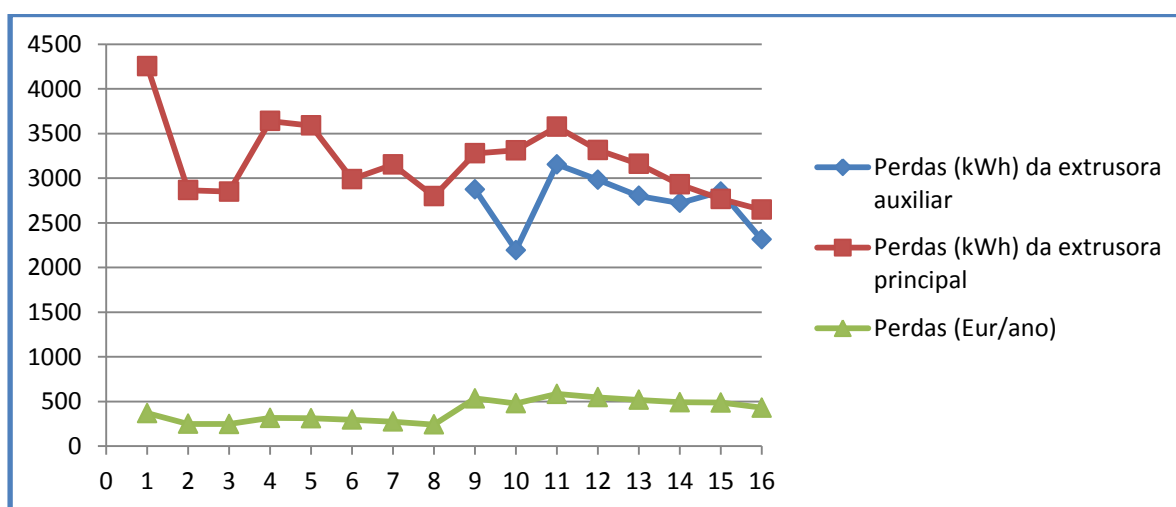


Figura 4.4 Perdas de energia das duas extrusoras e respectiva valorização anual.

#### 4. Optimização

Os cabos com o número indicativo de 1 a 8, não apresentam perdas relativamente à extrusora auxiliar, porque no fabrico destes cabos esta extrusora não foi utilizada.

As perdas da extrusora auxiliar podiam ser muito minimizadas, se na fase de projecto esta linha fosse ligada ao quadro geral da linha EP5, e não directamente ao posto de transformação (PT).

##### **Dimensionamento da bateria de condensadores**

Na Tabela 4.1 estão indicados todos os valores medidos e calculados que serviram de base ao dimensionamento da bateria de condensadores. Estima-se que por cada kVAr instalado em condensadores evita-se por ano uma emissão equivalente a 25 kg de CO<sub>2</sub>. (Cydesa, 2009). Esta equivalência foi utilizada para efeito de cálculos, (Anexo G)

**Tabela 4.1 Dimensionamento da bateria de condensadores.**

Potência instalada (kW)	372,15
Potência aparente – S (kVA)	224,11
Potência consumida – P (kW)	85,61
Potência reactiva – Q (kVAr)	207,11
Factor de potência real – $\cos\phi$ 1	0,38
Factor de potência desejado – $\cos\phi$ 2	0,96
Factor de correcção - f	2,143
Bateria de condensadores – Qc (kVAr)	479,6
Preço da bateria de condensadores (Euro)	12615
Ganho (Euro/ano)	36167,4
Pay-back (anos)	0,37
Redução de CO <sub>2</sub> emitido por ano (kg)	12500
Redução de CO <sub>2</sub> emitido por ano (%)	6,5

Como o objecto de estudo foi a linha de extrusão EP5, optou-se por fazer a compensação do factor de potência no quadro da linha EP5, instalando uma bateria de condensadores

#### 4. Optimização

com uma potência reactiva de 500 kVAr, bateria disponível no mercado e a mais próxima do valor calculado para a situação em estudo (479,6 kVAr referido na Tabela 4.1), e de acordo com a nova tarifa aplicada à energia reactiva, obtêm-se um ganho efectivo de 36167,4 Euro/ano e uma redução anual de CO<sub>2</sub> emitido de 6,5%. O retorno do investimento é de 0,37 anos.

##### **Estimativa da carga do motor da extrusora principal**

As medições efectuadas foram à linha EP5 (372 kW) e não ao motor (268 kW), pois é a linha que está a ser motorizada pelo equipamento de marca Schneider Electric modelo PM810. Logo os valores reais da carga do motor da extrusora principal serão sempre inferiores aos valores obtidos (menores que o valor médio obtido de 0,27). Este estudo serviu somente para confirmar os baixos valores de potência obtidos. Os valores medidos estão indicados no Anexo G.

##### **Perdas térmicas:**

Foram calculadas as perdas térmicas para a extrusora principal e para a caleira da linha EP5.

A valorização das perdas térmicas totais da extrusora principal e da caleira estão indicadas nas tabelas 4.2 e 4.3.

**Tabela 4.2 Perdas térmicas totais da extrusora principal**

Perdas (W)	661,7
Perdas (kWh)	4764,4
Perdas (Euro/ano)	413,75
Perdas ano (%)	1,16

**Tabela 4.3 Perdas térmicas totais na caleira.**

Temperatura (°C)	Perdas por convecção		Perdas por evaporação		Perdas totais (%)
	Perdas (kWh)	Perdas (Euro/ano)	Perdas (kWh)	Perdas (Euro/ano)	
70	292,8	25,4	6181,3	536,8	1,5
65	250,8	21,8	4658,3	404,5	1,13
60	210,4	18,3	3583,3	311,2	0,87

No caso das perdas por convecção na extrusora principal, a blindagem teria de ser isolada, de forma a diminuir as perdas para o exterior.

#### 4. Optimização

No caso da caleira, esta devia ter uma cobertura de forma a evitar as perdas por evaporação. Esta solução corresponderia a um ganho de 1,5% na situação normal de fabrico ( $T = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) e o retorno de investimento é de 0,19 anos (2 meses -. cálculos apresentados no Anexo G).

##### **Aquecimento da água do tanque de alimentação da caleira**

Na Tabela 4.4 está indicada a energia anual fornecida para diferentes condições de ensaio. Na Cabelte o aquecimento da água é efectuado até  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A temperatura da água de alimentação considerada em termos de cálculo foi de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . No entanto nada invalida que se trabalhe a uma temperatura de  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , pois este valor está compreendido nas tolerâncias de fabrico. Se além disso fosse aproveitada a água que sai da caleira geral e segue para as torres de arrefecimento, já se poderia alimentar o tanque com água a uma temperatura mais elevada, por exemplo  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Verifica-se que com a aplicação simultânea destas duas medidas o valor de energia anual fornecida passa de 3,18% para 1,91% relativamente ao consumo anual da linha EP5.

**Tabela 4.4 Contabilização da energia anualmente fornecida para as diferentes condições de ensaio.**

<b>Temperatura à entrada (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>Temperatura à saída (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>Energia anual fornecida (kWh)</b>	<b>Custo energético anual (Euro/kWh)</b>	<b>Variação da energia anual fornecida (%)</b>
20	70	13073,20	1135,31	3,18
20	65	11720,80	1017,86	2,85
20	60	10481,10	910,20	2,55
30	60	7832,65	680,21	1,91





## 5 Avaliação final e sugestões para trabalhos futuros

A energia é um recurso muito precioso. É necessário otimizar a sua gestão de modo a que as empresas sejam mais competitivas economicamente, ambientalmente mais racionais e socialmente mais equilibradas.

Na perspectiva do utilizador final a optimização para a utilização racional de energia está na redução de encargos da factura de energia eléctrica. Essa factura não depende só da quantidade mas também do modo temporal como se utiliza essa energia, principalmente a energia eléctrica, bastante dependente do período em que é consumida.

Uma metodologia diferente no planeamento da produção, contemplando o fabrico dos cabos com maior custo específico (1, 14, 15 e 16) nas horas de menor custo energético, ou seja, no período de 6<sup>a</sup> feira 12h 15 m até 2<sup>a</sup> feira 09h 15 m (horário de verão), ou no período de 6<sup>a</sup> feira das 21h 00 m até 2<sup>a</sup> feira 09h 30 m (horário de inverno), implicaria uma redução dos custos específicos de 18,7% para o horário de verão e de 20,4% para o horário de inverno.

O grau de sucesso de qualquer operação de transformação de polímeros, deve ser medido não só pela sua capacidade em garantir os padrões de qualidade predefinidos, como também na obtenção de maiores débitos e o menor consumo energético possível. Se for feita uma escolha assertiva dos materiais, das condições de processo, pode-se facilmente otimizar os indicadores energéticos, ou seja:

- Verifica-se que as duas referências de PE apresentam sempre valores de entalpia superiores (0,317 kWh/kg e 0,281 kWh/kg) e necessitam de temperaturas de trabalho mais elevadas, do que as duas referências de PVC (0,141 kWh/kg e 0,124 kWh/kg). Em termos de estudo de materiais alternativos estes valores devem servir de referência no sentido da sua optimização.

- Verifica-se que o consumo específico tendencialmente diminui à medida que aumenta a rotação do fuso, até se atingir o valor de rotação óptimo, a partir do qual esta tendência se inverte. No caso da extrusora principal o valor óptimo de rotação do fuso (correspondente aos valores mais baixos de consumo específico) seria aproximadamente de 24 rpm para os materiais PVC I2000 com cabeça dupla acoplada e mistura de 80% PE C-240 UV + 20% LDPE, e de 15 rpm no caso de PVC I2000 com cabeça simples acoplada, e na extrusora auxiliar seria de 110 rpm para a mistura 75% PE 4423 + 5% de catalisador PE 4476 + 20% de LDPE, e de 90 rpm no caso de se utilizar o material BEP.

- Verifica-se que para o mesmo material (PVC I2000) não é indiferente estar acoplada a cabeça de extrusão simples ou dupla, no que diz respeito ao valor óptimo de rotação do fuso e ao consumo específico.

- Verifica-se sempre que o  $\cos\phi$  para as duas extrusoras em estudo, aumenta sempre com o aumento de rotação do fuso. No caso da extrusora auxiliar, o  $\cos\phi$  para baixas e altas

rotações do fuso é independente do material utilizado, enquanto que na extrusora principal o  $\cos\phi$  é independente do material a 24 rpm.

A redução de toda a espécie de desperdícios (sobre consumos, desperdício em purgas) é uma prioridade de gestão que alia também a eficácia à eficiência, e constitui uma ferramenta fundamental para assegurar o futuro da empresa.

O valor médio lido para o factor de potência (0,38) da linha EP5, valor extremamente baixo e que vem associado à energia reactiva, além do factor económico que lhe está inerente, condiciona futuras ampliações. Se se evitar o trânsito de energia reactiva pelos cabos de alimentação, obtêm-se como principais benefícios a redução de perdas por sobreaquecimento e também o incremento de capacidade de transporte. Ou seja, se fosse feita a correcção de potência no quadro da linha EP5, não seria necessário a ligação da extrusora auxiliar ao PT, pois haveria disponibilidade no quadro principal da linha e evitar-se-iam as perdas dos condutores por Efeito Joule da extrusora auxiliar ao PT.

Uma vez que foi analisada a linha de extrusão EP5 e as propostas de optimização correspondem a esta linha da Cabelte, a forma de se corrigir o factor de potência é instalar uma bateria de condensadores de 500 kVAr, que é a bateria disponível no mercado mais compatível com as nossas necessidades. Considerando o novo sistema tarifário aplicado à energia reactiva, obtêm-se um ganho de 36167,4 Euro/ano e o período de retorno de investimento é de 0,37 anos (4,5 meses). Esta medida implica também uma redução anual de CO<sub>2</sub> emitido de 6,5%.

As reduções dos consumos de energia são conseguidas através da eliminação de consumos supérfluos, na recuperação de energia em perdas, na adaptação funcional dos equipamentos e processos e na utilização de equipamento de alto rendimento.

A quantificação das perdas térmicas é importante, pois só desta forma podem ser definidos modos de actuação de forma a aumentar a eficiência energética. Deve-se ter a sensibilidade para tomar medidas a nível do processo que conduzam à determinação das condições óptimas de fabrico. Não é indiferente a escolha das temperaturas de trabalho, pois à medida que se aumentam essas temperaturas, aumenta a energia consumida e aumentam as perdas térmicas.

É verdade que muitas das acções propostas no sentido da diminuição das perdas térmicas, apresentam valorizações baixas, mas se forem executadas na sua totalidade e reproduzidas a toda a unidade fabril, já terão um impacto muito maior.

Se não existir conhecimento profundo dos processos e metodologias correctas, não podem existir soluções eficientes, logo, é importante medir antes de avançar com qualquer medida de gestão.

### **Sugestões para trabalhos futuros**

No seguimento das conclusões apresentadas, e tendo consciência das limitações temporais inerentes à elaboração deste trabalho, são feitas algumas sugestões no sentido de complementar e melhorar todo este trabalho.

Propõem-se então as seguintes medidas:

- Estudo de materiais alternativos tendo em conta não só o preço e as características predefinidas, como também o maior débito (tendo em conta o valor de rotação óptimo do fuso) e o menor consumo energético.
- Estudo da influência das ferramentas utilizadas (cabeça de extrusão) na variação de débito e do consumo energético.
- Estudo dos comprimentos óptimos de fabrico de forma a otimizar os valores de velocidade definidos e a diminuição de purgas.
- Aumento da caleira de arrefecimento de forma a trabalhar a rotações do fuso mais elevadas, e consequentemente a maiores velocidades aumentando directamente o valor do rendimento operacional global.
- Derivação na saída da água da caleira de forma a ser possível o seu aproveitamento, como água de alimentação do tanque de aquecimento. Desta forma a temperatura da água de alimentação aumentava, o que implica directamente numa diminuição da energia consumida para aquecimento da água para os valores pretendidos. Sempre que possível deve-se fazer a reengenharia dos processos, com permuta de fontes quentes e frias.
- Devia ser colocado um registador ligado ao equipamento Schneider Electric modelo PM810, de forma a ser possível quantificar em termos energéticos a fase de preparação e arranque.

Este estudo deve estender-se a outros equipamentos similares na Unidade Industrial Cabelte.



## Bibliografia

- ADENE - Agência para a Energia. (2011). Obtido em 29 de Janeiro de 2011, de <http://www.adene.pt>
- Assis, R. (2004). *Apoio à Decisão em Gestão da Manutenção*. Lisboa: Lidel-Edições Técnicas,Lda.
- Boletim Fundação Vanzolini. (nº 42 de Março/Abril de 2000). *Produção e Tecnologias limpas*. Obtido em 30 de Maio de 2011, de <http://www.fiec.org.br>.
- Cabelte. (2004). *Guia prático de extrusão*. V.N.Gaia.
- Cabelte. (28 de Março de 2011). Materiais Plásticos.
- Cabelte. (s.d.). Fórmulas.
- Caleira de água quente, EP5 (15 de Abril de 2011).
- Castro Alberto Gomes, J. A. (2001). *Reologia e suas aplicações industriais*. Lisboa: Instituto Piaget.
- Citeve. (2009). *Auditoria Energética e Plano de Racionalização dos Consumos de Energia*. Vila Nova de Famalicão.
- Cydesa. (2009). Lista de Precios 09 - Condensadores y equipos para la compensación de energía reactiva. Madrid, Espanha.
- Depósito de aquecimento de água, EP5 (15 de Abril de 2011).
- Decreto-Lei n.º 71/2008. (15 de Abril de 2008). *D.R. N.º 74, Série I*.
- Despacho n.º 17313/2008. (26 de Junho de 2008). *D.R. N.º 122, Série II*.
- Diário da República Electrónico*. (1997). Obtido em 30 de Janeiro de 2011, de <http://www.dre.pt>
- Direcção-Geral de Energia e Geologia*. (s.d.). Obtido em 30 de Janeiro de 2011, de <http://www.dgeg.pt>
- Extrusora principal Mapré, EP5 (18 de Abril de 2011).
- Factura de energia. (2011).
- Fluke. (09 de 03 de 2011). Seminário Qualidade Eléctrica.
- Geankoplis, C. J. (1993). *Transport Processes and Unit Operations*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Grupo Cabelte. (2008). Obtido em 23 de Janeiro de 2011, de Grupo Cabelte: <http://www.cabelte.pt>
- Incropera, F. P., Dewitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2008). *Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa* (6ª Edição ed.). LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
- Linha de extrusão, EP5 (19 de Abril de 2011).
- Manual de Conservação de energia Lanifícios. (s.d.). *Ministério de Indústria e Energia*.
- Novais, J. (2008). *Ar comprimido industrial*. Lisboa: Fundação Caouste Gulbenkian.

Ozisik, M. (1990). *Transferência de calor*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A.

Portaria n.º 228/1990. (27 de Março de 1990). *D.R. n.º 72, Série I*.

Sá, A. F. (2010). *Gestão de energia e eficiência energética* (2ª Edição ed.). Publindústria.

Titow, W. V. (1984). *PVC Technology* (4ª Edição ed.). British: British Library Cataloguing in Publication Data.

## Anexos

### Anexo A: Ensaios

Neste anexo são apresentadas as tabelas correspondentes a todo o trabalho experimental efectuado. Os valores experimentais obtidos permitiram calcular todos os indicadores energéticos e de processo apresentados no capítulo 3. Os cabos estudados estão referenciados na Tabela 3.1. Nas anotações referentes a cada ensaio são referenciadas as situações consideradas como mais relevantes. É também apresentado o exemplo de cálculo para um cabo específico.

#### Anexo A 1 – Ensaios efectuados ao cabo RHZ1-OL 12/20 1x150 (Cabo nº 1)

##### Dados de fabrico

Na Tabela A 1 estão indicados os dados referentes ao fabrico do cabo em questão.

**Tabela A 1 Dados de fabrico.**

Ordem de fabrico (OF)	515396
Quantidade (m)	14000
Referência do cabo	RHZ1-OL 12/20 1x150
Velocidade de gama (m/min)	20
Operação	Bainha exterior
Material da extrusora principal	PE C-240 – UV + LDPE Nat.

##### Temperaturas da extrusora principal

Na Tabela A 2 estão indicadas as temperaturas da extrusora principal, no fabrico deste cabo.

**Tabela A 2 Temperaturas da extrusora principal.**

Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C	Coleira °C	Cabeça1 °C	Cabeça2 °C	Cabeça3 °C
170,6	183,2	191,4	193,2	195,2	198,2	194,3	169,8	166,0	192,1

##### Registos de preparação

Na tabela A3 estão indicadas todas as medições efectuadas na fase de preparação. Esta operação antecede sempre a operação de fabrico do cabo.

**Tabela A3 Registos de preparação.**

Preparação					Calculado	Lido
Extrusora	Tempo (min)	I (A)	U (V)	cosφ	Potência (kW)	Potência (kW)
Auxiliar	0	22	388	0,78	11,7	
Principal		58		0,981	38,2	38
Auxiliar	15	33	393	0,78	17,3	
Principal		46		0,909	28,5	30
Auxiliar	30	33	394	0,78	17,6	
Principal		45		0,91	27,9	29
Auxiliar	50	26	399	0,78	14,0	
Principal		49		0,744	25,2	25
Auxiliar	70	30	404	0,78	16,4	
Principal		56		0,92	36,1	34
Auxiliar	90	31	403	0,78	16,9	
Principal		39		0,906	24,7	27

**Registos de fabrico**

Na tabela A 4 estão indicadas todas as medições efectuadas no fabrico do cabo.

**Tabela A 4 Registos de fabrico.**

Fabrico					Calculado	Lido	Vel.
Extrusora	Tempo (min.)	I (A)	U (V)	cosφ	Potência (kW)	Potência (kW)	(m/min).
Principal	0	303	396	0,381	79,2	79	4,3
Principal	10	391	395	0,388	103,8	100	14,4
Principal	30	412	396	0,383	108,2	106	15
Principal	40	421	395	0,394	113,5	116	18,6
Principal	95	376	395	0,481	123,7	121	21,5
Principal	125	376	395	0,472	121,4	130	21,5
Principal	158	374	399	0,435	112,4	114	21,8

**Resultados obtidos**

Na Tabela A 5 estão indicados os resultados obtidos referentes aos parâmetros que foram monitorizados durante o fabrico. Estes valores vão ser depois utilizados no Anexo B, para cálculo dos indicadores energéticos e indicadores do processo.

**Tabela A 5 Resultados obtidos.**

	Preparação	Fabrico				
	Purgas (kg)	Consumo (kg)	Quantidade produzida (m)	Quantidade prevista (kg)	Energia (kWh)	Vel. (m/min)
Extrusora auxiliar	16,4					18,75
Extrusora principal	84,3	928,1	3000	902,10	316,88	
Extrusora principal		4309,2	14238	4281,16		
Total	100,7	4309,2	14238	4281,16		



### Anotações

Nas anotações são referenciadas as situações mais relevantes durante o fabrico, quer no que diz respeito a valores necessários para efeito de cálculo, quer na detecção de situações que podem ajudar a explicar alguns resultados posteriormente obtidos.

- Fabrico anterior OF 514701, cabo U-1000 ARO2V 1x120, na OF anterior trabalhou-se com a cabeça de dupla extrusão e consequentemente, para efectuar esta mudança teve de se mudar de cabeça de extrusão e de materiais.

- Valores previstos na gama para o fabrico dos 14000 m (estes valores contemplam 5% de desperdícios: PE C-240-UV = 3338,64 kg, LDPE Nat. = 1092,75 kg;

- Na extrusora auxiliar arbitraram-se os seguintes valores:

- Na fase de preparação:  $\cos\phi = 0,78$  e na fase de fabrico  $\cos\phi = 0,55$ ;

- Água de aquecimento: valor programado = 70 °C, valor real = 71 °C

- Tempo de preparação = 196 min.

- Tempo total de fabrico dos 3000 m = 160 min.

## Anexo A 2 – Ensaios efectuados ao cabo LSVAV 4x35 (Cabo nº 2)

### Ensaio 1:

#### Dados de fabrico

Na Tabela A 6 estão indicados os dados referentes ao fabrico do cabo em questão.

**Tabela A 6 Dados de fabrico.**

Ordem de fabrico (OF)	510440
Quantidade (m)	10000
Referência do cabo	LSVAV 4x35
Velocidade de gama (m/min)	51
Operação	Bainha exterior
Material da extrusora principal	PVC I2000

#### Temperaturas da extrusora principal

Na Tabela A 7 estão indicadas as temperaturas da extrusora principal, no fabrico deste cabo.

**Tabela A 7 Temperaturas da extrusora principal.**

Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C	Coleira °C	Cabeça1 °C	Cabeça2 °C	Cabeça3 °C
151,9	161,1	156,4	158,1	159,6	165,8	164,9	140,0	164,7	160,5

#### Registos de fabrico

Na tabela A 8 estão indicadas todas as medições efectuadas no fabrico do cabo.

**Tabela A 8 Registos de fabrico.**

Fabrico					Calculado	Lido	Vel.	Vel.
Extrusora	Tempo (min.)	I (A)	U (V)	cos $\varphi$	Potência (kW)	Potência (kW)	(rpm)	(m/min)
Principal	0	237	404	0,207	34,3	34	5,6	17,1
Principal	15	306	401	0,313	66,5	80	15,1	38,4
Principal	26	355	400	0,374	92,0	90	18,0	48,3
Principal	52	296	398	0,307	62,6	65	8,3	22,2

**Resultados obtidos**

Na Tabela A 9 estão indicados os resultados obtidos referentes aos parâmetros que foram monitorizados durante o fabrico. Estes valores vão ser depois utilizados no Anexo B, para cálculo dos indicadores energéticos e indicadores do processo.

**Tabela A 9 Resultados obtidos.**

	Preparação	Fabrico				
	Purgas (kg)	Consumo (kg)	Quantidade produzida (m)	Quantidade prevista (kg)	Energia (kWh)	Vel. (m/min)
Extrusora principal	14,4	453,0	467,4	455,06	65,42	38,53

**Anotações**

Nas anotações são referenciadas as situações mais relevantes durante o fabrico, quer no que diz respeito a valores necessários para efeito de cálculo, quer na detecção de situações que podem ajudar a explicar alguns resultados posteriormente obtidos.

- Fabrico anterior OF 510440, quantidade igual a 8000 m, cabo LSVAV 4x35;
- Valores previstos no fabrico de 10000 m (estes valores contemplam 5% de desperdícios): PVC I2000 = 2260,57 kg;
- Tempo de fabrico = 55 min.

**Ensaio 2:****Dados de fabrico**

Na Tabela A 10 estão indicados os dados referentes ao fabrico do cabo em questão.

**Tabela A 10 Dados de fabrico.**

Ordem de fabrico (OF)	516162
Quantidade (m)	10000
Referência do cabo	LSVAV 4x35
Velocidade de gama (m/min)	51
Operação	Bainha exterior
Material da extrusora principal	PVC I2000

### Temperaturas da extrusora principal

Na Tabela A 11 estão indicadas as temperaturas da extrusora principal, no fabrico deste cabo.

**Tabela A 11 Temperaturas da extrusora principal.**

Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C	Coleira °C	Cabeça1 °C	Cabeça2 °C	Cabeça3 °C
150,0	162,8	165,4	165,8	170,6	170,1	170,2	135,3	170,1	164,9

### Registos de fabrico

Na Tabela A 12 estão indicadas todas as medições efectuadas no fabrico do cabo.

**Tabela A 12 Registos de fabrico.**

Fabrico					Calculado	Lido	Vel.	Vel.
Extrusora	Tempo (min.)	I (A)	U (V)	cosφ	Potência (kW)	Potência (kW)	(rpm)	(m/min)
Principal	0	214	396	0,257	37,7	34	5,5	15,5
Principal	9	258	396	0,224	39,6	41	7,4	20,1
Principal	11	346	395	0,326	77,2	76	15,5	40,5
Principal	14	360	395	0,431	106,2	106	23,3	63,8
Principal	23	346	397	0,437	104,0	102	23,2	63,8
Principal	38	340	395	0,429	99,8	100	23,2	63,8
Principal	56	330	397	0,347	78,7	80	16,5	45,4
Principal	76	368	396	0,412	104,0	103	22,3	62,5
Principal	84	347	397	0,412	98,3	100	22,2	61,2

### Resultados obtidos

Na Tabela A 13 estão indicados os resultados obtidos referentes aos parâmetros que foram monitorizados durante o fabrico. Estes valores vão ser depois utilizados no Anexo B, para cálculo dos indicadores energéticos e indicadores do processo.

**Tabela A 13 Resultados obtidos.**

	Preparação	Fabrico				
	Purgas (kg)	Consumo (kg)	Quantidade produzida (m)	Quantidade prevista (kg)	Energia (kWh)	Vel. (m/min)
Extrusora principal	24,8	800,4	4000	859,02	128,73	45,18
Extrusora principal		2092,2	10255	2202,30		
Total	24,8	2092,2	10255	2202,30		

### Anotações

Nas anotações são referenciadas as situações mais relevantes durante o fabrico, quer no que diz respeito a valores necessários para efeito de cálculo, quer na detecção de situações que podem ajudar a explicar alguns resultados posteriormente obtidos.

- Fabrico anterior OF 514685, quantidade igual a 10000 m, cabo LVAV 4x95;
- Valores previstos para o fabrico dos 10000 m (estes valores contemplam 5% de desperdícios): PVC I2000 = 2260,57 kg;
- Tempo de preparação = 26 min;
- Tempo de fabrico dos 4000 m = 88 min;
- Tempo total de fabrico = 227 min.

### Anexo A3 – Ensaio efectuados ao cabo LVAV 3x185 + 1x95 (BE), (Cabo nº 3)

#### Dados de fabrico

Na Tabela A 14 estão indicados os dados referentes ao fabrico do cabo em questão.

**Tabela A 14 Dados de fabrico.**

Ordem de fabrico (OF)	509251
Quantidade (m)	15000
Referência do cabo	LVAV 3x185 + 1x95 0,6/kV DMA
Velocidade de gama (m/min)	20
Operação	Bainha exterior
Material da extrusora principal	PVC I2000

#### Temperaturas da extrusora principal

Na Tabela A 15 estão indicadas as temperaturas da extrusora principal, no fabrico deste cabo.

**Tabela A 15 Temperaturas da extrusora principal.**

Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C	Coleira °C	Cabeça1 °C	Cabeça2 °C	Cabeça3 °C
149,8	157,4	167,5	164,1	164,3	170,0	170,1	139,9	169,7	165,2

#### Registos de preparação

Na tabela A 16 estão indicadas todas as medições efectuadas na fase de preparação. Esta operação antecede sempre a operação de fabrico do cabo.

**Tabela A 16 Registos da preparação.**

Preparação					Calculado	Lido
Extrusora	Tempo (min.)	I (A)	U (A)	cosφ	Potência (kW)	Potência (kW)
Principal	0	16	397	0,735	8,1	9
Principal	20	26	398	0,886	15,9	16
Principal	26	28	397	0,960	18,5	18

**Registos de fabrico**

Na tabela A 17 estão indicadas todas as medições efectuadas no fabrico do cabo.

**Tabela A 17 Registos de fabrico.**

Fabrico					Calculado	Lido	Vel.	Vel.
Extrusora	Tempo (min.)	I (A)	U (V)	cosφ	Potência (kW)	Potência (kW)	(rpm)	(m/min)
Principal	0	186	395	0,275	35,0	37	4,1	3,1
Principal	5	259	393	0,332	58,5	54	7,3	4,9
Principal	10	241	395	0,309	50,9	49	8,9	6,3
Principal	15	323	393	0,327	71,9	68	12,9	9,2
Principal	20	335	395	0,353	80,9	78	17,7	13,1
Principal	25	326	394	0,358	79,6	77	17,8	13,1
Principal	30	334	396	0,375	85,9	87	20,2	14,3
Principal	35	340	396	0,396	92,3	93	21,4	15,7
Principal	40	318	396	0,326	71,1	74	10,5	17,8

**Resultados obtidos**

Na Tabela A 18 estão indicados os resultados obtidos referentes aos parâmetros que foram monitorizados durante o fabrico. Estes valores vão ser depois utilizados no Anexo B, para cálculo dos indicadores energéticos e indicadores do processo.

**Tabela A 18 Resultados obtidos.**

	Preparação	Fabrico				
	Purgas (kg)	Consumo (kg)	Quantidade produzida (m)	Quantidade prevista (kg)	Energia (kWh)	Vel. (m/min)
Extrusora principal	32	368,5	503	280,57	55,12	10,48

**Anotações**

Nas anotações são referenciadas as situações mais relevantes durante o fabrico, quer no que diz respeito a valores necessários para efeito de cálculo, quer na detecção de situações que podem ajudar a explicar alguns resultados posteriormente obtidos.

- Fabrico anterior OF 516025, quantidade igual a 1000 m;
- Valores previstos para o fabrico dos 15000 m (estes valores contemplam 5% de desperdícios): PVC I2000 = 8807,13 kg

- Tempo de preparação = 53 min.
- Tempo de fabrico dos 503 m = 48 min.

## Anexo A4 – Ensaio efectuados ao cabo U-1000 4x240 (Cabo nº 4)

### Dados de fabrico

Na Tabela A 19 estão indicados os dados referentes ao fabrico do cabo em questão.

**Tabela A 19 Dados de fabrico.**

Ordem de fabrico (OF)	521152
Quantidade (m)	2000
Referência do cabo	U-1000 4x240
Velocidade de gama (m/min)	15
Operação	Bainha exterior
Material da extrusora principal	PVC I2000

### Temperaturas da extrusora principal

Na Tabela A 20 estão indicadas as temperaturas da extrusora principal, no fabrico deste cabo.

**Tabela A 20 Temperaturas da extrusora principal.**

Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C	Coleira °C	Cabeça1 °C	Cabeça2 °C	Cabeça3 °C
150,2	158,5	159,4	166,6	166,0	165,3	164,9	139,8	165,5	158,3

### Registos de fabrico

Na tabela A 21 estão indicadas todas as medições efectuadas no fabrico do cabo.

**Tabela A 21 Registos de fabrico.**

Fabrico					Calculado	Lido	Vel.	Vel.
Extrusora	Tempo (min.)	I (A)	U (V)	cosφ	Potência (kW)	Potência (kW)	(rpm)	(m/min)
Principal	0	302	397	0,286	59,4	61	13,4	10,2
Principal	20	372	395	0,490	124,7	124	29,0	22,0
Principal	45	346	396	0,486	115,3	114	29,0	22,2
Principal	60	351	400	0,431	104,8	104	17,9	13,3
Principal	70	370	400	0,469	120,2	120	28,1	20,6
Principal	85	354	399	0,466	114,0	114	28,1	20,8
Principal	105	359	400	0,471	117,1	116	28,1	20,6

### Resultados obtidos

Na Tabela A 22 estão indicados os resultados obtidos referentes aos parâmetros que foram monitorizados durante o fabrico. Estes valores vão ser depois utilizados no Anexo B, para cálculo dos indicadores energéticos e indicadores do processo.

**Tabela A 22 Resultados obtidos.**

	Preparação	Fabrico	Quantidade produzida (m)	Quantidade prevista (kg)	Energia (kWh)	Vel. (m/min)
	Purgas (kg)	Consumo (kg)				
Extrusora auxiliar	35	1340,0	2016	1385,96	193,57	18,50

**Anotações**

Nas anotações são referenciadas as situações mais relevantes durante o fabrico, quer no que diz respeito a valores necessários para efeito de cálculo, quer na detecção de situações que podem ajudar a explicar alguns resultados posteriormente obtidos.

- Fabrico anterior OF 520980, quantidade igual a 2070 m, Cabo XV 3x50+1x25;
- Valores previstos para o fabrico dos 2000 m (estes valores contemplam 5% de desperdícios): PVC I2000 = 1447,33 kg;
- Tempo de preparação = 20 min.
- Tempo total de fabrico = 109 min.

**Anexo A 5 – Ensaio efectuados ao cabo LXV 3x185 + 1x95 (Cabo nº 5)****Dados de fabrico**

Na Tabela A 23 estão indicados os dados referentes ao fabrico do cabo em questão.

**Tabela A 23 Dados de fabrico.**

Ordem de fabrico (OF)	516311
Quantidade (m)	2000
Referência do cabo	LXV 3x185+1x95
Velocidade de gama (m/min)	19
Operação	Bainha exterior
Material da extrusora principal	PVC I2000

**Temperaturas da extrusora principal**

Na Tabela A 24 estão indicadas as temperaturas da extrusora principal, no fabrico deste cabo.

**Tabela A 24 Temperaturas da extrusora principal.**

Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C	Coleira °C	Cabeça1 °C	Cabeça2 °C	Cabeça3 °C
150,5	157,7	160,0	165,5	165,7	165,1	165,0	140,0	165,3	158,6

**Registos de fabrico**

Na tabela A 25 estão indicadas todas as medições efectuadas no fabrico do cabo.

**Tabela A 25 Registos de fabrico.**

Fabrico					Calculado	Lido	Vel.	Vel.
Extrusora	Tempo (min.)	I (A)	U (V)	cosφ	Potência (kW)	Potência (kW)	(rpm)	(m/min)
Principal	0	317	399	0,301	65,9	66	13,1	15,3
Principal	10	385	399	0,459	122,1	119	26,8	31,2
Principal	25	349	398	0,460	110,7	111	26,8	30,9
Principal	40	315	399	0,298	64,9	64	13,5	12,4
Principal	47	378	396	0,449	116,4	113	26,6	28,5
Principal	65	345	396	0,460	108,9	111	26,5	28,5

**Resultados obtidos**

Na Tabela A 26 estão indicados os resultados obtidos referentes aos parâmetros que foram monitorizados durante o fabrico. Estes valores vão ser depois utilizados no Anexo B, para cálculo dos indicadores energéticos e indicadores do processo.

**Tabela A 26 Resultados obtidos.**

	Preparação	Fabrico				
	Purgas (kg)	Consumo (kg)	Quantidade produzida (m)	Quantidade prevista (kg)	Energia (kWh)	Vel. (m/min)
Extrusora auxiliar	17,6	1013,6	2038	1046,43	137,62	25,48

**Anotações**

Nas anotações são referenciadas as situações mais relevantes durante o fabrico, quer no que diz respeito a valores necessários para efeito de cálculo, quer na detecção de situações que podem ajudar a explicar alguns resultados posteriormente obtidos.

- Fabrico anterior OF 521152, quantidade igual a 2000 m, cabo U-1000 4x240;
- Valores previstos para o fabrico dos 2000 m (estes valores contemplam 5% de desperdícios): PVC I2000 = 1080,97 kg;
- Tempo de preparação = 28 min.
- Tempo total de fabrico = 80 min.

**Anexo A 6 – Ensaios efectuados ao cabo XAV 3x150 + 1x70 (Cabo nº 6)****Dados de fabrico**

Na Tabela A 27 estão indicados os dados referentes ao fabrico do cabo em questão.



**Tabela A 27 Dados de fabrico.**

Ordem de fabrico (OF)	521172
Quantidade (m)	1000
Referência do cabo	XAV 3x150+1x70
Velocidade de gama (m/min)	14
Operação	Bainha exterior
Material da extrusora principal	PVC I2000

**Temperaturas da extrusora principal**

Na Tabela A 28 estão indicadas as temperaturas da extrusora principal, no fabrico deste cabo.

**Tabela A 28 Temperaturas da extrusora principal.**

Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C	Coleira °C	Cabeça1 °C	Cabeça2 °C	Cabeça3 °C
150,0	154,8	160,0	164,8	164,8	164,9	165,1	140,1	164,9	159,0

**Registos de fabrico**

Na tabela A 29 estão indicadas todas as medições efectuadas no fabrico do cabo.

**Tabela A 29 Registos do fabrico.**

Fabrico					Calculado	Lido	Vel.	Vel.
Extrusora	Tempo (min.)	I (A)	U (V)	cosφ	Potência (kW)	Potência (kW)	(rpm)	(m/min)
Principal	0	279	396	0,290	55,5	58	12,8	13,8
Principal	15	300	395	0,289	59,3	61	12,8	13,8
Principal	21	348	394	0,375	89,1	90	20,0	22,5
Principal	30	255	396	0,273	47,7	46	10,0	11,5
Principal	46	336	396	0,345	79,5	80	17,1	19,6
Principal	50	376	395	0,471	121,2	122	27,6	31,5
Principal	55	349	396	0,466	111,5	114	27,6	31,5
Principal	57	299	397	0,332	68,3	72	17,3	19,7

**Resultados obtidos**

Na Tabela A 30 estão indicados os resultados obtidos referentes aos parâmetros que foram monitorizados durante o fabrico. Estes valores vão ser depois utilizados no Anexo B, para cálculo dos indicadores energéticos e indicadores do processo.

**Tabela A 30 Resultados obtidos.**

	Preparação	Fabrico				
	Purgas (kg)	Consumo (kg)	Quantidade produzida (m)	Quantidade prevista (kg)	Energia (kWh)	Vel. (m/min)
Extrusora auxiliar	8,8	484,3	1025	508,65	69,27	17,08

### Anotações

Nas anotações são referenciadas as situações mais relevantes durante o fabrico, quer no que diz respeito a valores necessários para efeito de cálculo, quer na detecção de situações que podem ajudar a explicar alguns resultados posteriormente obtidos.

- Fabrico anterior OF 516131, quantidade igual a 2000 m, cabo LXS 3x185+1x95;
- Valores previstos para o fabrico dos 2000 m (estes valores contemplam 5% de desperdícios): PVC I2000 = 522,36 kg;
- Tempo total de fabrico = 60 min.

## Anexo A 7 – Ensaios efectuados ao cabo LXHIOV 1x240/16 18/30 kV (Cabo nº 7)

### Dados de fabrico

Na Tabela A 31 estão indicados os dados referentes ao fabrico do cabo em questão.

**Tabela A 31 Dados de fabrico.**

Ordem de fabrico (OF)	519835
Quantidade (m)	850
Referência do cabo	LXHIOV 1x240/16 18/30 kV
Velocidade de gama (m/min)	20
Operação	Bainha exterior
Material da extrusora principal	PVC I2000

### Temperaturas da extrusora principal

Na Tabela A 32 estão indicadas as temperaturas da extrusora principal, no fabrico deste cabo.

**Tabela A 32 Temperaturas da extrusora principal.**

Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C	Coleira °C	Cabeça1 °C	Cabeça2 °C	Cabeça3 °C
150,6	159,7	163,0	163,6	164,1	164,6	166,2	140,0	165,0	160,0

### Registos de preparação

Na tabela A 33 estão indicadas todas as medições efectuadas na fase de preparação. Esta operação antecede sempre a operação de fabrico do cabo.

Tabela A 33 Registos de preparação.

Preparação					Calculado	Lido
Extrusora	Tempo (min.)	I (A)	U (A)	cosφ	Potência (kW)	Potência (kW)
Principal	0	17	400	0,824	9,7	10
Principal	2	69	397	0,966	45,8	46
Principal	10	171	397	0,222	26,1	27
Principal	15	264	398	0,272	49,5	51
Principal	20	12	404	0,870	7,3	7
Principal	30	364	398	0,453	113,7	113

### Registos de fabrico

Na tabela A 34 estão indicadas todas as medições efectuadas no fabrico do cabo.

Tabela A 34 Registos do fabrico.

Fabrico					Calculado	Lido	Vel.	Vel.
Extrusora	Tempo (min.)	I (A)	U (V)	cosφ	Potência (kW)	Potência (kW)	(rpm)	(m/min)
Principal	0	272	399	0,322	60,5	50	11,3	12,3
Principal	5	363	400	0,387	97,3	96	21,8	24,1
Principal	15	344	399	0,389	92,5	92	21,8	24,1
Principal	20	341	398	0,399	93,8	94	21,7	24,1
Principal	25	328	398	0,397	89,8	91	21,8	24,1
Principal	30	332	398	0,399	91,3	91	21,8	24,1
Principal	35	330	398	0,392	89,2	88	21,8	24,0
Principal	38	300	398	0,330	68,2	70	16,8	18,6

### Resultados obtidos

Na Tabela A 35 estão indicados os resultados obtidos referentes aos parâmetros que foram monitorizados durante o fabrico. Estes valores vão ser depois utilizados no Anexo B, para cálculo dos indicadores energéticos e indicadores do processo.

Tabela A 35 Resultados obtidos.

	Preparação	Fabrico				
	Purgas (kg)	Consumo (kg)	Quantidade produzida (m)	Quantidade prevista (kg)	Energia (kWh)	Vel. (m/min)
Extrusora principal	150	424,5	873	460,23	58,73	21,29

### Anotações

Nas anotações são referenciadas as situações mais relevantes durante o fabrico, quer no que diz respeito a valores necessários para efeito de cálculo, quer na detecção de situações que podem ajudar a explicar alguns resultados posteriormente obtidos.

- Fabrico anterior OF 516025, quantidade igual a 15000 m, cabo LVAV 3x185 + 1x95;

- Valores previstos para o fabrico dos 850 m (estes valores contemplam 5% de desperdícios): PVC I2000 = 471,690 kg;
- Tempo de preparação = 31 min.
- Tempo de fabrico dos 873 m = 41 min.

## Anexo A 8 – Ensaios efectuados ao cabo LVAV 3x185 + 1x95 (BI) (Cabo nº 8)

### Dados de fabrico

Na Tabela A 36 estão indicados os dados referentes ao fabrico do cabo em questão.

**Tabela A 36 Dados de fabrico.**

Ordem de fabrico (OF)	509251
Quantidade (m)	15000
Referência do cabo	LVAV 3x185 + 1x95 0,6/1 kV DMA
Velocidade de gama (m/min)	37
Operação	Bainha interior
Material da extrusora principal	PVC BI I2000

### Temperaturas da extrusora principal

Na Tabela A 37 estão indicadas as temperaturas da extrusora principal, no fabrico deste cabo.

**Tabela A 37 Temperaturas da extrusora principal.**

Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C	Coleira °C	Cabeça1 °C	Cabeça2 °C	Cabeça3 °C
150,5	158,9	155,1	159,7	159,6	164,1	164,4	139,9	164,2	152,4

### Registos de preparação

Na tabela A 38 estão indicadas todas as medições efectuadas na fase de preparação. Esta operação antecede sempre a operação de fabrico do cabo.

**Tabela A 38 Registos de preparação.**

Preparação					Calculado	Lido
Extrusora	Tempo (min.)	I (A)	U (A)	cosφ	Potência (kW)	Potência (kW)
Principal	0	285	399	0,214	42,1	42
Principal	20	297	399	0,314	64,4	64

### Registos de fabrico

Na tabela A 39 estão indicadas todas as medições efectuadas no fabrico do cabo.

Tabela A 39 Registos de fabrico.

Fabrico					Calculado	Lido	Vel.	Vel.
Extrusora	Tempo (min.)	I (A)	U (V)	cosφ	Potência (kW)	Potência (kW)	(rpm)	(m/min)
Principal	0	228	400	0,210	33,2	34	6,9	5
Principal	5	265	400	0,267	49,0	48	14,8	19,9
Principal	10	345	398	0,331	78,7	76	14,8	20,1
Principal	15	336	399	0,353	82,0	83	18,1	26,5
Principal	20	327	399	0,359	81,1	86	18,1	26,5
Principal	25	344	398	0,386	91,5	90	21,6	31,5
Principal	30	322	398	0,413	91,7	93	21,6	31,5
Principal	35	318	398	0,399	87,5	86	21,6	31,5
Principal	40	320	397	0,419	92,2	94	22,8	31,9
Principal	45	303	398	0,362	75,6	77	17,5	25,4
Principal	50	302	398	0,340	70,8	76	17,5	25,4
Principal	55	290	398	0,319	63,8	65	14,5	20,9
Principal	60	295	397	0,332	67,3	66	14,5	20,9

### Resultados obtidos

Na Tabela A 40 estão indicados os resultados obtidos referentes aos parâmetros que foram monitorizados durante o fabrico. Estes valores vão ser depois utilizados no Anexo B, para cálculo dos indicadores energéticos e indicadores do processo.

Tabela A 40 Resultados obtidos.

	Preparação	Fabrico				
	Purgas (kg)	Consumo (kg)	Quantidade produzida (m)	Quantidade prevista (kg)	Energia (kWh)	Vel. (m/min)
Extrusora principal	22,1	572,3	1531	483,73	106,93	20
Extrusora principal		2275,8	6100	1927,35		

### Anotações

Nas anotações são referenciadas as situações mais relevantes durante o fabrico, quer no que diz respeito a valores necessários para efeito de cálculo, quer na detecção de situações que podem ajudar a explicar alguns resultados posteriormente obtidos.

- Fabrico anterior OF 510440, quantidade igual a 10000 m, cabo LSVAV 4x35;
- Valores previstos para o fabrico dos 15000 m (estes valores contemplam 5% de desperdícios):PVC BI I2000 = 4988,83 kg;
- Tivemos de trabalhar a uma velocidade mais reduzida, porque a fita de poliéster vinha muito danificada;
- Na fase de cableamento o cabo apresentava-se com um diâmetro = 43 mm, o diâmetro previsto de cabo final = 42,70 mm
- Tempo de preparação = 30 min.

- Tempo de fabrico dos 1531 m = 66 min.
- Tempo total de fabrico = 305 min

## Anexo A 9 – Ensaios efectuados ao cabo U-1000 RO2V 5G50 (Cabo nº 9)

### Dados de fabrico

Na Tabela A 41 estão indicados os dados referentes ao fabrico do cabo em questão.

**Tabela A 41 Dados de fabrico.**

Ordem de fabrico (OF)	524236
Quantidade (m)	2000
Referência do cabo	U-1000 RO2V 5G50
Velocidade de gama (m/min)	26
Operação	Bainha interior + Bainha exterior
Material da extrusora auxiliar	PVC BEP
Material da extrusora principal	PVC I2000

### Temperaturas da extrusora auxiliar

Na Tabela A 42 estão indicadas as temperaturas da extrusora auxiliar, no fabrico deste cabo.

**Tabela A 42 Temperaturas da extrusora auxiliar.**

Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C
145,3	150,4	155,0	154,9	161,0	136,2

### Temperaturas da extrusora principal

Na Tabela A 43 estão indicadas as temperaturas da extrusora principal, no fabrico deste cabo.

**Tabela A 43 Temperaturas da extrusora principal.**

Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C	Coleira °C	Cabeça1 °C	Cabeça2 °C	Cabeça3 °C
151,1	155,0	164,2	165,4	166,0	159,8	165,0	135,1	170,4	160,7

### Registos de fabrico

Na tabela A 44 estão indicadas todas as medições efectuadas no fabrico do cabo.

**Tabela A 44 Registos de fabrico.**

Fabrico					Calculado	Lido	Vel.	Vel.
Extrusora	Tempo (min.)	I (A)	U (V)	cosφ	Potência (kW)	Potência (kW)	(rpm)	(m/min)
Auxiliar	0	172	401	0,339	40,5		25	10,1
Principal		288		0,330	66,0	65	9,1	
Auxiliar	15	174	401	0,608	73,5		70	30,0
Principal		365		0,417	105,7	103	24,0	
Auxiliar	30	165	399	0,600	68,4		71	30,0
Principal		345		0,430	102,5	102	24,1	

**Resultados obtidos**

Na Tabela A 45 estão indicados os resultados obtidos referentes aos parâmetros que foram monitorizados durante o fabrico. Estes valores vão ser depois utilizados no Anexo B, para cálculo dos indicadores energéticos e indicadores do processo.

**Tabela A 45 Resultados obtidos.**

	Preparação	Fabrico				
	Purgas (kg)	Consumo (kg)	Quantidade produzida (m)	Quantidade prevista (kg)	Energia (kWh)	Vel. (m/min)
Extrusora auxiliar	34,3	378,4	1148	463,91	49,44	23,92
Extrusora principal	76,8	512,4		400,36	72,68	
Total	111,1	890,8	1148	864,27	122,12	

**Anotações**

Nas anotações são referenciadas as situações mais relevantes durante o fabrico, quer no que diz respeito a valores necessários para efeito de cálculo, quer na detecção de situações que podem ajudar a explicar alguns resultados posteriormente obtidos.

- Fabrico anterior OF 525537, quantidade igual a 1505 m, cabo RV-K 1x240;
- Valores previstos para o fabrico dos 2000 m (estes valores contemplam 5% de desperdícios): PVC I2000 = 624,200 kg, PVC BEP = 730,75;
- Tempo de fabrico = 48 min.

**Anexo A 10 – Ensaios efectuados ao cabo U-1000 R2V XV 4x50 (Cabo nº 10)****Dados de fabrico**

Na Tabela A 46 estão indicados os dados referentes ao fabrico do cabo em questão.

**Tabela A 46 Dados de fabrico.**

Ordem de fabrico (OF)	524765
Quantidade (m)	1500
Referência do cabo	U-1000 R2V XV 4x50
Velocidade de gama (m/min)	28
Operação	Bainha interior + Bainha exterior
Material da extrusora auxiliar	PVC BEP
Material da extrusora principal	PVC I2000

**Temperaturas da extrusora auxiliar**

Na Tabela A 47 estão indicadas as temperaturas da extrusora auxiliar, no fabrico deste cabo.

**Tabela A 47 Temperaturas da extrusora auxiliar.**

Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C
136,4	149,1	154,9	153,7	160,0	134,5

**Temperaturas da extrusora principal**

Na Tabela A 48 estão indicadas as temperaturas da extrusora principal, no fabrico deste cabo.

**Tabela A 48 Temperaturas da extrusora principal.**

Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C	Coleira °C	Cabeça1 °C	Cabeça2 °C	Cabeça3 °C
151,1	146,6	160,0	162,8	163,4	157,4	165,1	142,2	168,9	160,7

**Registos de fabrico**

Na tabela A 49 estão indicadas todas as medições efectuadas no fabrico do cabo.

**Tabela A 49 Registos de fabrico.**

Fabrico					Calculado	Lido	Vel.	Vel.
Extrusora	Tempo (min.)	I (A)	U (V)	cosφ	Potência (kW)	Potência (kW)	(rpm)	(m/min)
Auxiliar	0	117	400	0,297	24,1		25	14,7
Principal		268		0,283	52,5	51	9,2	
Auxiliar	10	174	399	0,576	69,3		66	37,9
Principal		368		0,423	107,6	104	23,8	
Auxiliar	20	150	398	0,598	61,8		65	37,5
Principal		341		0,409	96,1	98	23,8	
Auxiliar	35	157	396	0,577	62,1		65	37,5
Principal		358		0,417	102,4	103	23,3	
Auxiliar	45	146	397	0,561	56,3		65	37,0
Principal		337		0,426	98,7	106	23,3	



### Resultados obtidos

Na Tabela A 50 estão indicados os resultados obtidos referentes aos parâmetros que foram monitorizados durante o fabrico. Estes valores vão ser depois utilizados no Anexo B, para cálculo dos indicadores energéticos e indicadores do processo.

**Tabela A 50 Resultados obtidos.**

	Preparação	Fabrico				
	Purgas (kg)	Consumo (kg)	Quantidade produzida (m)	Quantidade prevista (kg)	Energia (kWh)	Vel. (m/min)
Extrusora auxiliar	2,8	349,4	1538	509,13	58,30	29,58
Extrusora principal	36,8	504,2		384,78	97,03	
Total	39,6	853,6	1538	893,91	155,33	

### Anotações

Nas anotações são referenciadas as situações mais relevantes durante o fabrico, quer no que diz respeito a valores necessários para efeito de cálculo, quer na detecção de situações que podem ajudar a explicar alguns resultados posteriormente obtidos.

- Fabrico anterior OF 524236, quantidade igual a 1148 m, cabo U-1000 RO2V 5G50;
- Valores previstos para o fabrico dos 1500 m (estes valores contemplam 5% de desperdícios): PVC I2000 = 395,020 kg, PVC BEP = 522,690;
- Tempo de fabrico = 52 min.

## Anexo A 11 – Ensaios efectuados ao cabo U-1000 ARO2V 4x240 (Cabo nº 11)

### Dados de fabrico

Na Tabela A 51 estão indicados os dados referentes ao fabrico do cabo em questão.

**Tabela A 51 Dados de fabrico.**

Ordem de fabrico (OF)	520215
Quantidade (m)	2000
Referência do cabo	U-1000 ARO2V 4x240
Velocidade de gama (m/min)	7
Operação	Bainha interior + bainha exterior
Material da extrusora auxiliar	PVC BEP
Material da extrusora principal	PVC I2000

### Temperaturas da extrusora auxiliar

Na Tabela A 52 estão indicadas as temperaturas da extrusora auxiliar, no fabrico deste cabo.

**Tabela A 52 Temperaturas da extrusora auxiliar.**

Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C
146,0	154,8	155,0	154,5	162,0	132,5

### Temperaturas da extrusora principal

Na Tabela A 53 estão indicadas as temperaturas da extrusora principal, no fabrico deste cabo.

**Tabela A 53 Temperaturas da extrusora principal.**

Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C	Coleira °C	Cabeça1 °C	Cabeça2 °C	Cabeça3 °C
153,0	160,4	165,9	171,0	170,7	170,5	170,1	140,2	170,2	165,1

### Registos de fabrico

Na tabela A 54 estão indicadas todas as medições efectuadas no fabrico do cabo.

**Tabela A 54 Registos de fabrico.**

Fabrico					Calculado	Lido	Vel.	Vel.
Extrusora	Tempo (min.)	I (A)	U (V)	cosφ	Potência (kW)	Potência (kW)	(rpm)	(m/min)
Auxiliar	0	182	396	0,478	59,7		35	6,0
Principal		331		0,348	79,0	78	15,6	
Auxiliar	6	175	395	0,553	66,2		60	9,1
Principal		358		0,423	103,6	104	23,8	
Auxiliar	15	179	393	0,695	84,7		85	13,0
Principal		363		0,527	130,2	128	31,1	
Auxiliar	27	175	394	0,687	82,0		85	12,9
Principal		350		0,520	124,2	126	31,1	
Auxiliar	60	174	396	0,682	81,4		85	13,0
Principal		345		0,516	122,1	124	31,1	
Auxiliar	112	191	395	0,573	74,9		70	11,1
Principal		351		0,447	107,3	111	26,6	
Auxiliar	125	173	395	0,561	66,4		70	11,1
Principal		334		0,453	103,5	104	26,7	

### Resultados obtidos

Na Tabela A 55 estão indicados os resultados obtidos referentes aos parâmetros que foram monitorizados durante o fabrico. Estes valores vão ser depois utilizados no Anexo B, para cálculo dos indicadores energéticos e indicadores do processo.

**Tabela A 55 Resultados obtidos.**

	Preparação	Fabrico				
	Purgas (kg)	Consumo (kg)	Quantidade produzida (m)	Quantidade prevista (kg)	Energia (kWh)	Vel. (m/min)
Extrusora auxiliar	22	1047,6	1275	1642,74	164,72	10,49
Extrusora principal	142	1533,0		953,84	249,82	
Extrusora auxiliar		1612,5	2014	2594,88	238,87	
Extrusora principal		2406,0		1506,70	365,95	
Total	164	4018,5	2014	41101,58	604,82	

**Anotações**

Nas anotações são referenciadas as situações mais relevantes durante o fabrico, quer no que diz respeito a valores necessários para efeito de cálculo, quer na detecção de situações que podem ajudar a explicar alguns resultados posteriormente obtidos.

- Fabrico anterior OF 521684, quantidade igual a 1327 m, cabo XHI1AV 1x70VM;
- Valores previstos para o fabrico dos 2000 m (estes valores contemplam 5% de desperdícios): PVC I2000 = 1574,97 kg, PVC BEP = 2712,47 kg;
- Diâmetro do cableado = 58,25 mm;
- Tempo total de fabrico = 192 min.

**Anexo A 12 – Ensaios efectuados ao cabo U-1000 5G35 (Cabo nº 12)****Dados de fabrico**

Na Tabela A 56 estão indicados os dados referentes ao fabrico do cabo em questão.

**Tabela A 56 Dados de fabrico.**

Ordem de fabrico (OF)	517047
Quantidade (m)	4000
Referência do cabo	U-1000 5G35
Velocidade de gama (m/min)	33
Operação	Bainha interior + Bainha exterior
Material da extrusora auxiliar	PVC BEP
Material da extrusora principal	PVC I2000

**Temperaturas da extrusora auxiliar**

Na Tabela A 57 estão indicadas as temperaturas da extrusora auxiliar, no fabrico deste cabo.

**Tabela A 57 Temperaturas da extrusora auxiliar.**

Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C
140,4	145,0	150,1	155,2	154,0	145,0

**Temperaturas da extrusora principal**

Na Tabela A 58 estão indicadas as temperaturas da extrusora principal, no fabrico deste cabo.

**Tabela A 58 Temperaturas da extrusora principal.**

Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C	Coleira °C	Cabeça1 °C	Cabeça2 °C	Cabeça3 °C
155,4	178,6	178,7	165,2	165,2	170,0	170,1	151,4	170,1	160,6

**Registos de fabrico**

Na tabela A 59 estão indicadas todas as medições efectuadas no fabrico do cabo.

**Tabela A 59 Registos do fabrico.**

Fabrico					Calculado	Lido	Vel.	Vel.
Extrusora	Tempo (min.)	I (A)	U (V)	cosφ	Potência (kW)	Potência (kW)	(rpm)	(m/min)
Auxiliar	0	180	394	0,55	67,6			23,8
Principal		324		0,420	92,9	93	17,4	
Auxiliar	10	179	398	0,55	68,0			33,3
Principal		330		0,431	98,0	98	24,4	
Auxiliar	20	170	396	0,55	64,0			33,3
Principal		338		0,435	100,8	100	24,4	
Auxiliar	40	174	394	0,55	65,2			34,0
Principal		349		0,458	109,1	110	24,7	
Auxiliar	60	165	399	0,55	62,6			34,0
Principal		332		0,438	100,5	101	24,7	

**Resultados obtidos**

Na Tabela A 60 estão indicados os resultados obtidos referentes aos parâmetros que foram monitorizados durante o fabrico. Estes valores vão ser depois utilizados no Anexo B, para cálculo dos indicadores energéticos e indicadores do processo.

**Tabela A 60 Resultados obtidos.**

	Preparação	Fabrico				
	Purgas (kg)	Consumo (kg)	Quantidade produzida (m)	Quantidade prevista (kg)	Energia (kWh)	Vel. (m/min)
Extrusora auxiliar	12	409,9	2116	559,32	71,91	32,06
Extrusora principal	35	655,6		477,43	111,93	
Total	47	1065,5	2116	1036,75	183,85	

### Anotações

Nas anotações são referenciadas as situações mais relevantes durante o fabrico, quer no que diz respeito a valores necessários para efeito de cálculo, quer na detecção de situações que podem ajudar a explicar alguns resultados posteriormente obtidos.

- Fabrico anterior OF 517717, quantidade igual a 3000 m, cabo U-1000 5G35, quando comecei as medições já tinha 2000 m de cabo produzido;
- Para a extrusora auxiliar arbitraram-se os seguintes valores: na fase de preparação  $\cos\phi = 0,78$  e na fase de fabrico  $\cos\phi = 0,55$ ;
- Valores previstos para o fabrico dos 4000 m (estes valores contemplam 5% de desperdícios): PVC BEP = 1112,97 kg, PVC I2000 = 950,010 kg;
- Tempo de fabrico dos 2116 m = 66 min.

## Anexo A 13 – Ensaios efectuados ao cabo U-1000 4x35 (Cabo nº 13)

### Ensaio 1:

#### Dados de fabrico

Na Tabela A 61 estão indicados os dados referentes ao fabrico do cabo em questão.

**Tabela A 61 Dados de fabrico.**

Ordem de fabrico (OF)	517480
Quantidade (m)	2000
Referência do cabo	U-1000 4x35
Velocidade de gama (m/min)	40
Operação	Bainha interior + Bainha exterior
Material da extrusora auxiliar	PVC BEP
Material da extrusora principal	PVC I2000

#### Temperaturas da extrusora auxiliar

Na Tabela A 62 estão indicadas as temperaturas da extrusora auxiliar, no fabrico deste cabo.

**Tabela A 62 Temperaturas da extrusora auxiliar.**

Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C
140,4	145,0	150,1	155,2	154,0	145,0

#### Temperaturas da extrusora principal

Na Tabela A 63 estão indicadas as temperaturas da extrusora principal, no fabrico deste cabo.

**Tabela A 63 Temperaturas da extrusora principal.**

Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C	Coleira °C	Cabeça1 °C	Cabeça2 °C	Cabeça3 °C
155,4	178,6	178,7	165,2	165,2	170,0	170,1	151,4	170,1	160,6

**Registos de fabrico**

Na tabela A 64 estão indicadas todas as medições efectuadas no fabrico do cabo.

**Tabela A 64 Registos do fabrico.**

Fabrico					Calculado	Lido	Vel.	Vel.
Extrusora	Tempo (min.)	I (A)	U (V)	cosφ	Potência (kW)	Potência (kW)	(rpm)	(m/min)
Auxiliar	0	149	399	0,55	56,6			21,7
Principal		259		0,284	50,8	52	10,2	
Auxiliar	7	185	400	0,55	70,6			38,4
Principal		359		0,395	98,2	98	19,7	
Auxiliar	10	169	399	0,55	64,2			46,8
Principal		344		0,416	98,9	101	22,8	
Auxiliar	20	165	399	0,55	62,7			46,8
Principal		331		0,428	97,9	100	22,9	
Auxiliar	30	165	398	0,55	62,4			46,8
Principal		335		0,449	103,7	103	22,9	
Auxiliar	40	169	398	0,55	63,9			46,8
Principal		326		0,417	93,7	95	22,9	

**Resultados obtidos**

Na Tabela A 65 estão indicados os resultados obtidos referentes aos parâmetros que foram monitorizados durante o fabrico. Estes valores vão ser depois utilizados no Anexo B, para cálculo dos indicadores energéticos e indicadores do processo.

**Tabela A 65 Resultados obtidos.**

	Preparação	Fabrico				
	Purgas (kg)	Consumo (kg)	Quantidade produzida (m)	Quantidade prevista (kg)	Energia (kWh)	Vel. (m/min)
Extrusora auxiliar		389,9	1998	512,58	51,30	40,78
Extrusora principal	28,3	516,4		410,77	121,93	
Total	28,3	906,3	1998	923,35	173,23	

**Anotações**

Nas anotações são referenciadas as situações mais relevantes durante o fabrico, quer no que diz respeito a valores necessários para efeito de cálculo, quer na detecção de situações que podem ajudar a explicar alguns resultados posteriormente obtidos.

- Fabrico anterior OF 517717, quantidade igual a 2000 m, cabo U-1000 5G35;

- Para a extrusora auxiliar arbitraram-se os seguintes valores: na fase de preparação  $\cos\phi = 0,78$  e na fase de fabrico  $\cos\phi = 0,55$ ;
- Valores previstos para o fabrico dos 2000 m (estes valores contemplam 5% de desperdícios): PVC BEP = 540,1 kg, PVC I2000 = 432,82 kg;
- Tempo de preparação = 24 min;
- Tempo de fabrico dos 1998 m = 49 min.

## **Ensaio 2:**

### **Dados de fabrico**

Na Tabela A 66 estão indicados os dados referentes ao fabrico do cabo em questão.

**Tabela A 66 Dados de fabrico.**

Ordem de fabrico (OF)	518497
Quantidade (m)	3000
Referência do cabo	U-1000 4x35
Velocidade de gama (m/min)	40
Operação	Bainha interior + Bainha exterior
Material da extrusora auxiliar	PVC BEP
Material da extrusora principal	PVC I2000

### **Temperaturas da extrusora auxiliar**

Na Tabela A 67 estão indicadas as temperaturas da extrusora auxiliar, no fabrico deste cabo.

**Tabela A 67 Temperaturas da extrusora auxiliar.**

Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C
140,4	145,0	150,1	155,2	154,0	145,0

### **Temperaturas da extrusora principal**

Na Tabela A 68 estão indicadas as temperaturas da extrusora principal, no fabrico deste cabo.

**Tabela A 68 Temperaturas da extrusora principal.**

Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C	Coleira °C	Cabeça1 °C	Cabeça2 °C	Cabeça3 °C
155,4	178,6	178,7	165,2	165,2	170,0	170,1	151,4	170,1	160,6

### **Registos de fabrico**

Na tabela A 69 estão indicadas todas as medições efectuadas no fabrico do cabo.

Tabela A 69 Registos de fabrico.

Fabrico					Calculado	Lido	Vel.	Vel.
Extrusora	Tempo (min.)	I (A)	U (V)	cosφ	Potência (kW)	Potência (kW)	(rpm)	(m/min)
Auxiliar	0	140	399	0,55	53,1			18,0
Principal		250		0,269	46,5	45	8,7	
Auxiliar	6	182	398	0,55	68,9			47,6
Principal		365		0,430	108,2	108	23,1	
Auxiliar	20	182	397	0,55	68,8			47,6
Principal		343		0,434	102,4	103	23,8	
Auxiliar	40	179	396	0,55	67,7			36,6
Principal		321		0,373	82,1	84	18,3	
Auxiliar	51	169	397	0,55	63,8			49,1
Principal		348		0,439	105,0	104	24,2	
Auxiliar	60	165	396	0,55	62,1			49,1
Principal		339		0,441	102,5	102	24,3	

### Resultados obtidos

Na Tabela A 70 estão indicados os resultados obtidos referentes aos parâmetros que foram monitorizados durante o fabrico. Estes valores vão ser depois utilizados no Anexo B, para cálculo dos indicadores energéticos e indicadores do processo.

Tabela A 70 Resultados obtidos.

	Preparação	Fabrico				
	Purgas (kg)	Consumo (kg)	Quantidade produzida (m)	Quantidade prevista (kg)	Energia (kWh)	Vel. (m/min)
Extrusora auxiliar	15	522,0	3005	770,93	79,75	41,16
Extrusora principal	38	794,9		617,79	117,13	
Total	53	1316,9	3005	1388,71	196,89	

### Anotações

Nas anotações são referenciadas as situações mais relevantes durante o fabrico, quer no que diz respeito a valores necessários para efeito de cálculo, quer na detecção de situações que podem ajudar a explicar alguns resultados posteriormente obtidos.

- Fabrico anterior OF 517480, quantidade igual a 2000 m, cabo U-1000 4x35, mudança sem paragem;

- Para a extrusora auxiliar arbitraram-se os seguintes valores: na fase de preparação  $\cos\phi = 0,78$  e na fase de fabrico  $\cos\phi = 0,55$ ;

- Valores previstos para o fabrico dos 3000 m (estes valores contemplam 5% de desperdícios): PVC BEP = 810,15 kg, PVC I2000 = 649,22 kg;

- Tempo de fabrico dos 3005 m = 73 min.



## Anexo A 14 – Ensaios efectuados ao cabo U-1000 1x50 (Cabo nº 14)

### Ensaio 1:

#### Dados de fabrico

Na Tabela A 71 estão indicados os dados referentes ao fabrico do cabo em questão.

**Tabela A 71 Dados de fabrico.**

Ordem de fabrico (OF)	512125
Quantidade (m)	40000
Referência do cabo	U-1000 1x150
Velocidade de gama (m/min)	61
Operação	Isolação + Bainha exterior
Material da extrusora auxiliar	PE 4423 + PE LE 4476 + LDPE Nat.
Material da extrusora principal	PVC I2000

#### Temperaturas da extrusora auxiliar

Na Tabela A 72 estão indicadas as temperaturas da extrusora auxiliar, no fabrico deste cabo.

**Tabela A 72 Temperaturas da extrusora auxiliar.**

Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C
165,1	170,1	179,9	193,9	200,0	160,0

#### Temperaturas da extrusora principal

Na Tabela A 73 estão indicadas as temperaturas da extrusora principal, no fabrico deste cabo.

**Tabela A 73 Temperaturas da extrusora principal.**

Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C	Coleira °C	Cabeça1 °C	Cabeça2 °C	Cabeça3 °C
156,6	163,2	167,3	170,8	170,1	144,9	170,1	144,9	170,7	163,8

#### Registos de preparação

Na tabela A 74 estão indicadas todas as medições efectuadas na fase de preparação. Esta operação antecede sempre a operação de fabrico do cabo.

Tabela A 74 Registos de preparação.

Preparação					Calculado	Lido
Extrusora	Tempo (min)	I (A)	U (V)	cos $\phi$	Potência (kW)	Potência (kW)
Auxiliar	0	28	398	0,78	15,2	
Principal	0	24	398	0,895	15,0	15
Auxiliar	5	74	400	0,78	40,2	
Principal	5	149	400	0,252	26,0	26
Auxiliar	10	39	401	0,78	21,3	
Principal	10	201	401	0,186	26,0	26

### Registos de fabrico

Na tabela A 75 estão indicadas todas as medições efectuadas no fabrico do cabo.

Tabela A 75 Registos de fabrico.

Fabrico					Calculado	Lido	Vel.
Extrusora	Tempo (min.)	I (A)	U (V)	cos $\phi$	Potência (kW)	Potência (kW)	(m/min)
Auxiliar	0	123	400	0,55	47,0		18,5
Principal	0	218		0,296	44,7	42	
Auxiliar	10	176	399	0,55	66,9		55,5
Principal	10	364		0,528	132,9	92	
Auxiliar	20	169	398	0,55	64,2		69,7
Principal	20	294		0,575	116,4	91	
Auxiliar	30	177	400	0,55	67,3		69,7
Principal	30	354		0,545	133,8	95	
Auxiliar	50	170	401	0,55	65,1		69,7
Principal	50	345		0,549	131,4	95	
Auxiliar	62	128	401	0,55	49,0		40,5
Principal	62	254		0,429	75,6	95	

### Resultados obtidos

Na Tabela A 76 estão indicados os resultados obtidos referentes aos parâmetros que foram monitorizados durante o fabrico. Estes valores vão ser depois utilizados no Anexo B, para cálculo dos indicadores energéticos e indicadores do processo.

Tabela A 76 Resultados obtidos

	Preparação	Fabrico				
	Purgas (kg)	Consumo (kg)	Quantidade produzida (m)	Quantidade prevista (kg)	Energia (kWh)	Vel. (m/min)
Extrusora auxiliar	7	275,6	4000	268,76	71,03	62,5
Extrusora principal	27,5	605,3		559,51	94,05	
Extrusora auxiliar		1420,0	21725	1459,71		
Extrusora principal		3280,0		3038,84		
Total	27,5	4700,0		4498,55	165,08	

### Anotações

Nas anotações são referenciadas as situações mais relevantes durante o fabrico, quer no que diz respeito a valores necessários para efeito de cálculo, quer na detecção de situações que podem ajudar a explicar alguns resultados posteriormente obtidos.

- Fabrico anterior OF 510461, quantidade igual a 2550 m, Cabo U-1000 1x120;
- Diâmetro da alma previsto igual a 14,5 mm, diâmetro da alma medido igual a 14,8 mm;
- Valores previstos na gama para o fabrico dos 40000 m (estes valores contemplam 5% de desperdícios: PVC I2000 = 5889,59 kg, PE LE 4423 = 1640,020 kg, PE LE 4476 = 140,070 kg, LDPE Nat. = 1048,97 kg;
- Para o  $\cos\phi$  arbitraram-se os seguintes valores:
- Na fase de preparação:  $\cos\phi = 0,78$  e na fase de fabrico  $\cos\phi = 0,55$
- Tempo de preparação = 10 min.
- Tempo de fabrico dos 4000 m = 64 min.

### Ensaio 2:

#### Dados de fabrico

Na Tabela A 77 estão indicados os dados referentes ao fabrico do cabo em questão.

Tabela A 77 Dados de fabrico.

Ordem de fabrico (OF)	522572
Quantidade (m)	20000
Referência do cabo	U-1000 1x150
Velocidade de gama (m/min)	61
Operação	Isolação + Bainha exterior
Material da extrusora auxiliar	PE LE 4423 + PE LE 4476 + LDPE
Material principal	PVC I2000

### Temperaturas da extrusora auxiliar

Na Tabela A 78 estão indicadas as temperaturas da extrusora principal, no fabrico do cabo.

**Tabela A 78 Temperaturas da extrusora auxiliar.**

Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C
167,8	170,0	174,9	185,1	186,0	165,3

### Temperaturas da extrusora principal

Na Tabela A 79 estão indicadas as temperaturas da extrusora principal, no fabrico do cabo.

**Tabela A 79 Temperaturas da extrusora principal.**

Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C	Coleira °C	Cabeça1 °C	Cabeça2 °C	Cabeça3 °C
158,8	160,1	164,9	164,9	164,9	170,1	169,9	143,6	170,1	165,2

### Registos de fabrico

Na Tabela A 80 estão indicadas todas as medições efectuadas no fabrico do cabo.

**Tabela A 80 Registos do fabrico.**

Fabrico					Calculado	Lido	Vel.	Vel.
Extrusora	Tempo (min.)	I (A)	U (V)	cosφ	Potência (kW)	Potência (kW)	(rpm)	(m/min)
Auxiliar	0	180	394	0,724	88,9		65	62,5
Principal		326		0,336	74,8	80	15,6	
Auxiliar	40	163	396	0,665	74,3		65	62,5
Principal		320		0,332	72,9	75	15,6	
Auxiliar	65	182	396	0,732	91,4		70	69,7
Principal		346		0,358	85,0	87	17,6	
Auxiliar	90	185	404	0,746	96,6		69	69,7
Principal		330		0,363	83,8	85	17,6	
Auxiliar	117	188	402	0,778	101,8		67	69,7
Principal		335		0,374	87,2	88	17,7	
Auxiliar	150	183	403	0,652	83,3		60	58,8
Principal		324		0,314	71,0	73	14,7	
Auxiliar	185	184	402	0,726	93,0		60	58,8
Principal		329		0,341	78,1	80	14,7	
Auxiliar	218	134	403	0,659	61,6		30	28,0
Principal		257		0,259	46,5	44	7,4	
Auxiliar	223	165	401	0,629	72,1		65	63,8
Principal		350		0,364	88,5	88	16	

### Resultados obtidos

Na Tabela A 81 estão indicados os resultados obtidos referentes aos parâmetros que foram monitorizados durante o fabrico. Estes valores vão ser depois utilizados no Anexo B, para cálculo dos indicadores energéticos e indicadores do processo.

**Tabela A 81 Resultados obtidos.**

	Preparação	Fabrico				
	Purgas (kg)	Consumo (kg)	Quantidade produzida (m)	Quantidade prevista (kg)	Energia (kWh)	Vel. (m/min)
Extrusora auxiliar	3,5	1165,9	17580	1181,20	426,40	58,41
Extrusora principal	8,5	2535,8		2459,05	412,13	
Extrusora auxiliar		1362,9	20551	1380,83		
Extrusora principal		2694,4		2630,20		
Total	12	4327,3	20551	4011,02	838,53	

### Anotações

Nas anotações são referenciadas as situações mais relevantes durante o fabrico, quer no que diz respeito a valores necessários para efeito de cálculo, quer na detecção de situações que podem ajudar a explicar alguns resultados posteriormente obtidos.

- Fabrico anterior OF 521283, quantidade igual a 3040 m, cabo LXV 1x150;
- Valores previstos para o fabrico dos 20000 m (estes valores contemplam 5% de desperdícios): PVC I2000 = 2944,79 kg, PE 4423 = 820,010, PE LE 4476 = 70,030, LDPE = 524,490;
- Tempo de fabrico dos 17558 m = 301 min.

## Anexo A 15 – Ensaios efectuados ao cabo U-1000 ARO2V 1x400 (Cabo nº 15)

### Dados de fabrico

Na Tabela A 82 estão indicados os dados referentes ao fabrico do cabo em questão.

**Tabela A 82 Dados de fabrico.**

Ordem de fabrico (OF)	517641
Quantidade (m)	5000
Referência do cabo	U-1000 ARO2V 1x400
Velocidade de gama (m/min)	26
Operação	Isolação + Bainha exterior
Material da extrusora auxiliar	PE LE 4423 + PE LE 4476 + LDPE
Material da extrusora principal	PVC I2000

### Temperaturas da extrusora auxiliar

Na Tabela A 83 estão indicadas as temperaturas da extrusora auxiliar, no fabrico deste cabo.

**Tabela A 83 Temperaturas da extrusora auxiliar.**

Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C
166,6	170,2	180,0	195,2	194,0	160,0

### Temperaturas da extrusora principal

Na Tabela A 84 estão indicadas as temperaturas da extrusora principal, no fabrico deste cabo.

**Tabela A 84 Temperaturas da extrusora principal.**

Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C	Coleira °C	Cabeça1 °C	Cabeça2 °C	Cabeça3 °C
150,3	160,0	164,4	164,0	170,2	168,6	170,3	135,0	170,5	167,4

### Registos de preparação

Na tabela A 85 estão indicadas todas as medições efectuadas na fase de preparação. Esta operação antecede sempre a operação de fabrico do cabo.

**Tabela A 85 Registos de preparação.**

Preparação					Calculado	Lido
Extrusora	Tempo (min.)	I (A)	U (A)	cosφ	Potência (kW)	Potência (kW)
Auxiliar	0	117	395	0,78	62,4	44
Principal		280		0,252	48,3	
Auxiliar	10	129	394	0,78	68,8	56
Principal		302		0,282	58,1	

### Registos de fabrico

Na tabela A 86 estão indicadas todas as medições efectuadas no fabrico do cabo.

Tabela A 86 Registos de fabrico.

Fabrico					Calculado	Lido	Vel.	Vel.
Extrusora	Tempo (min.)	I (A)	U (V)	cosφ	Potência (kW)	Potência (kW)	(rpm)	(m/min)
Auxiliar	0	124	396	0,55	46,9			12,4
Principal		258		0,268	47,4	48	7,4	
Auxiliar	7	145	396	0,55	54,7			22,9
Principal		299		0,289	59,3	58	10,4	
Auxiliar	10	139	398	0,55	52,8			22,9
Principal		304		0,303	63,5	64	10,4	
Auxiliar	25	160	394	0,55	60,2			24,0
Principal		306		0,308	64,3	64	10,9	
Auxiliar	40	164	395	0,55	61,7			2,8
Principal		299		0,313	64,0	63	10,8	
Auxiliar	60	172	395	0,55	64,7			24,7
Principal		320		0,310	67,9	66	11,8	
Auxiliar	78	157	396	0,55	59,4			25,8
Principal		302		0,286	59,2	60	11,8	
Auxiliar	90	160	396	0,55	60,4			25,8
Principal		310		0,294	62,5	61	11,8	

### Resultados obtidos

Na Tabela A 87 estão indicados os resultados obtidos referentes aos parâmetros que foram monitorizados durante o fabrico. Estes valores vão ser depois utilizados no Anexo B, para cálculo dos indicadores energéticos e indicadores do processo.

Tabela A 87 Resultados obtidos.

	Preparação	Fabrico				
	Purgas (kg)	Consumo (kg)	Quantidade produzida (m)	Quantidade prevista (kg)	Energia (kWh)	Vel. (m/min)
Extrusora auxiliar	17,8	316,8	2000	320,22	92,34	21,18
Extrusora principal	9,3	520,1		539,66	97,37	
Extrusora auxiliar		782,6	5082	787,63		
Extrusora principal		1320,7		1327,39		
Total	27,1	2103,3	5082	2115,02	189,71	

### Anotações

Nas anotações são referenciadas as situações mais relevantes durante o fabrico, quer no que diz respeito a valores necessários para efeito de cálculo, quer na detecção de situações que podem ajudar a explicar alguns resultados posteriormente obtidos.

- Fabrico anterior OF 520047; quantidade igual a 2000 m, cabo RV 1.8/3 kV 1x400K AL;

- Para a extrusora auxiliar arbitraram-se os seguintes valores: na fase de preparação  $\cos\phi = 0,78$  e na fase de fabrico  $\cos\phi = 0,55$ ;
- Valores previstos para o fabrico dos 5000 m (estes valores contemplam 5% de desperdícios): PE LE 4423 = 521,89 kg, PE LE 4476 = 40,87 kg, LDPE Nat. = 260,510 kg, PVC I2000 = 1420,17 kg;
- Tempo de preparação = 12 min.
- Tempo de fabrico dos 2000 m = 94 min.
- Tempo total de fabrico = 240 min.

## Anexo A 16 – Ensaios efectuados ao cabo RV 1,8/3 kV 1x400K AL (Cabo nº 16)

### Dados de fabrico

Na Tabela A 88 estão indicados os dados referentes ao fabrico do cabo em questão.

**Tabela A 88 Dados de fabrico.**

Ordem de fabrico (OF)	520047
Quantidade (m)	2000
Referência do cabo	RV 1,8/3 kV 1x400K AL
Velocidade de gama (m/min)	26
Operação	Isolação + Bainha exterior
Material da extrusora auxiliar	PE LE 4423 + PE LE 4476
Material da extrusora principal	PVC I2000

### Temperaturas da extrusora auxiliar

Na Tabela A 89 estão indicadas as temperaturas da extrusora auxiliar, no fabrico deste cabo.

**Tabela A 89 Temperaturas da extrusora auxiliar.**

Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C
166,6	170,2	180,0	195,2	194,0	160,0

### Temperaturas da extrusora principal

Na Tabela A 90 estão indicadas as temperaturas da extrusora principal, no fabrico deste cabo.

**Tabela A 90 Temperaturas da extrusora principal.**

Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C	Coleira °C	Cabeça1 °C	Cabeça2 °C	Cabeça3 °C
150,3	160,0	164,4	164,0	170,2	168,6	170,3	135,0	170,5	167,4



### Registos de fabrico

Na tabela A 91 estão indicadas todas as medições efectuadas no fabrico do cabo.

**Tabela A 91 Registos do fabrico.**

Fabrico	Tempo (min.)	I (A)	U (V)	cosφ	Calculado	Lido	Vel.	Vel.
Extrusora					Potência (kW)	Potência (kW)	(rpm)	(m/min)
Auxiliar	0	127	399	0,55	48,1			10,5
Principal		231		0,282	45,0	49	5,4	
Auxiliar	10	188	398	0,55	71,3			22,3
Principal		316		0,301	65,6	64	12,4	
Auxiliar	20	175	398	0,55	66,3			22,7
Principal		310		0,292	62,4	62	12,4	
Auxiliar	30	173	396	0,55	65,3			22,5
Principal		319		0,323	70,7	70	12,4	
Auxiliar	45	168	397	0,55	63,7			22,7
Principal		311		0,300	64,2	65	12,4	
Auxiliar	60	166	396	0,55	62,5			20,9
Principal		315		0,303	65,5	64	11,7	
Auxiliar	65	176	396	0,55	66,4			22,9
Principal		319		0,337	73,7	74	12,4	
Auxiliar	80	175	397	0,55	66,1			22,9
Principal		315		0,296	64,1	64	12,5	
Auxiliar	90	179	396	0,55	67,5			22,7
Principal		315		0,291	62,9	63	12,5	

### Resultados obtidos

Na Tabela A 92 estão indicados os resultados obtidos referentes aos parâmetros que foram monitorizados durante o fabrico. Estes valores vão ser depois utilizados no Anexo B, para cálculo dos indicadores energéticos e indicadores do processo.

**Tabela A 92 Resultados obtidos.**

	Preparação	Fabrico	Quantidade produzida (m)	Quantidade prevista (kg)	Energia (kWh)	Vel. (m/min)
	Purgas (kg)	Consumo (kg)				
Extrusora auxiliar	30	311,8	2050	317,12	161,23	21,13
Extrusora principal	49	631,8		620,17	104,77	
Total	79	943,6	2050	937,29	266,00	

### Anotações

Nas anotações são referenciadas as situações mais relevantes durante o fabrico, quer no que diz respeito a valores necessários para efeito de cálculo, quer na detecção de situações que podem ajudar a explicar alguns resultados posteriormente obtidos.

- Fabrico anterior OF 519230, quantidade igual a 949 m, cabo XV 3x185 + 2G95;

- Para a extrusora auxiliar arbitraram-se os seguintes valores: na fase de preparação  $\cos\phi = 0,78$  e na fase de fabrico  $\cos\phi = 0,55$ ;
- Valores previstos para o fabrico dos 2000 m (estes valores contemplam 5% de desperdícios): PE LE 4423 = 312,070 kg, PE LE 4476 = 13,60 kg, PVC I2000 = 636,89 kg;
- Tempo de preparação = 31 min.
- Tempo total de fabrico = 97 min.

## **Anexo A 17 - Exemplo de cálculo**

O exemplo de cálculo foi baseado nos resultados dos ensaios realizados ao cabo RHZ1-OL 12/20 1x150 (Cabo nº 1).

### **1 – Cálculo da Potência (kW), (Tabela A4)**

Tempo (min) = 30

Intensidade (A) = 412

Diferença de potencial entre fases (V) = 396

$\cos\phi = 0,383$

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos\phi \quad \text{Equação 2.2}$$

$$P (W) = \sqrt{3} * 396 * 412 * 0,383 = 108231,0$$

$$P (kW) = \frac{108231,0}{1000} = 108,2$$

### **2 – Cálculo da Energia (kWh), (Tabela A 5)**

$$P (kWh) = 79 * \frac{10}{60} + 103,8 * \frac{20}{60} + 108,2 * \frac{10}{60} + 113,5 * \frac{55}{60} + 123,7 * \frac{35}{60} + 121,4 * \frac{33}{60} + 112,4 * \frac{2}{60} = 316,88$$

### **3 – Cálculo da velocidade (m/min), (Tabela A 13)**

Tempo de fabrico (min) = 227

Quantidade (m) = 10255

$$v \left( \frac{m}{min} \right) = \frac{10255}{227} = 45,18$$

## Anexo B: Determinação de indicadores energéticos e de processo

De acordo com os dados experimentais e apresentados em tabelas no anexo A, apresentam-se as tabelas com os valores calculados para os seguintes indicadores:

- Consumo específico (kgep/ton);
- Custo específico (Euro/ton);
- Indicador de sobre consumo (%);
- Indicador de purgas (%);
- Indicador de velocidade (%);

Neste anexo são também apresentados os exemplos de cálculo referentes à determinação dos indicadores acima mencionados.

### Anexo B 1 – Consumo específico

Os valores apresentados nesta tabela deram origem à Figura 3.1.

**Tabela B 1 Consumo específico (kgep/ton).**

Item nº	Cabo	OF	Qt. (m)	Consumo específico (kgep/ton)
1	RHZ1-OL 12/20 1x150	515396	14000	73,41
2	LSVAV 4x35	516612	6119	32,82
3	LVAV 3x185+1x95 (BE)	509251	503	32,16
4	U-1000 4x240	521152	2016	31,06
5	LXV 3x185+1x95	516131	2038	29,19
6	XAV 3x150+1x70	521172	1025	30,75
7	LXHIOV 1x240/16 18/30 kV	519835	873	29,75
8	LVAV 3x185+1x95 (BI)	509251	6100	30,91
9	U-1000 RO2V 5G50	524236	1148	29,48
10	U-1000 R2V XV 4x50	524765	1538	39,12
11	U-1000 ARO2V 4x240	520215	2014	32,36
12	U-1000 5G35	517047	2116	37,10
13	U-1000 4x35	517480	5003	36,62
14	U-1000 1x150	512125	42276	43,52
15	U-1000 ARO2V 1x400	517641	5082	48,74
16	RV 1,8/3 kV 1x400K AL	520047	2050	60,61

## Anexo B 2 – Custo específico

Os valores apresentados nesta tabela deram origem à Figura 3.1.

**Tabela B 2 Custo específico (Euro./ton)**

Item nº	Cabo	OF	Qt. (m)	Custo específico (Euro./ton)
1	RHZ1-OL 12/20 1x150	515396	14000	29,65
2	LSVAV 4x35	516612	6119	13,26
3	LVAV 3x185+1x95 (BE)	509251	503	12,99
4	U-1000 4x240	521152	2016	12,54
5	LXV 3x185+1x95	516131	2038	11,79
6	XAV 3x150+1x70	521172	1025	12,42
7	LXHIOV 1x240/16 18/30 kV	519835	873	12,02
8	LVAV 3x185+1x95 (BI)	509251	6100	12,48
9	U-1000 RO2V 5G50	524236	1148	11,91
10	U-1000 R2V XV 4x50	524765	1538	15,80
11	U-1000 ARO2V 4x240	520215	2014	13,07
12	U-1000 5G35	517047	2116	14,98
13	U-1000 4x35	517480	5003	14,79
14	U-1000 1x150	512125	42276	17,58
15	U-1000 ARO2V 1x400	517641	5082	19,69
16	RV 1,8/3 kV 1x400K AL	520047	2050	24,48

**Anexo B 3 – Indicador de sobre consumo**

Os valores apresentados nesta tabela deram origem à Figura 3.2.

**Tabela B 3 Indicador de sobre consumo. O objectivo é 0%.**

Item nº	Cabo	OF	Qt. (m)	Sobre consumos (%)
1	RHZ1-OL 12/20 1x150	515396	14000	0,66
2	LSVAV 4x35	516612	6119	-3,64
3	LVAV 3x185+1x95 (BE)	509251	503	31,34
4	U-1000 4x240	521152	2016	-3,32
5	LXV 3x185+1x95	516131	2038	-3,14
6	XAV 3x150+1x70	521172	1025	-4,79
7	LXHIOV 1x240/16 18/30 kV	519835	873	-7,76
8	LVAV 3x185+1x95 (BI)	509251	6100	18,08
9	U-1000 RO2V 5G50	524236	1148	3,07
10	U-1000 R2V XV 4x50	524765	1538	-4,51
11	U-1000 ARO2V 4x240	520215	2014	-2,03
12	U-1000 5G35	517047	2116	2,77
13	U-1000 4x35	517480	5003	-3,51
14	U-1000 1x150	512125	42276	6,07
15	U-1000 ARO2V 1x400	517641	5082	-2,67
16	RV 1,8/3 kV 1x400K AL	520047	2050	0,67

## Anexo B 4 – Indicador de purgas

Os valores apresentados nesta tabela deram origem à Figura 3.3.

**Tabela B 4 Indicador de purgas. O objectivo é 5%**

Item nº	Cabo	OF	Qt. (m)	Desperdício em purgas (%)
1	RHZ1-OL 12/20 1x150	515396	14000	2,34
2	LSVAV 4x35	516612	6119	3,09
3	LVAV 3x185+1x95 (BE)	509251	503	8,68
4	U-1000 4x240	521152	2016	2,61
5	LXV 3x185+1x95	516131	2038	1,74
6	XAV 3x150+1x70	521172	1025	1,82
7	LXHIOV 1x240/16 18/30 kV	519835	873	35,34
8	LVAV 3x185+1x95 (BI)	509251	6100	0,97
9	U-1000 RO2V 5G50	524236	1148	12,47
10	U-1000 R2V XV 4x50	524765	1538	4,64
11	U-1000 ARO2V 4x240	520215	2014	4,08
12	U-1000 5G35	517047	2116	4,41
13	U-1000 4x35	517480	5003	3,57
14	U-1000 1x150	512125	42276	0,51
15	U-1000 ARO2V 1x400	517641	5082	3,24
16	RV 1,8/3 kV 1x400K AL	520047	2050	8,37

## Anexo B 5 – Indicador de velocidade

Os valores apresentados nesta tabela deram origem à Figura 3.4.

**Tabela B 5 Indicador de velocidade. O objectivo é 100%.**

Item nº	Cabo	OF	Qt. (m)	Velocidade (%)
1	RHZ1-OL 12/20 1x150	515396	14000	93,75
2	LSVAV 4x35	516612	6119	82,06
3	LVAV 3x185+1x95 (BE)	509251	503	52,40
4	U-1000 4x240	521152	2016	123,30
5	LXV 3x185+1x95	516131	2038	134,08
6	XAV 3x150+1x70	521172	1025	122,02
7	LXHIOV 1x240/16 18/30 kV	519835	873	106,46
8	LVAV 3x185+1x95 (BI)	509251	6100	54,05
9	U-1000 RO2V 5G50	524236	1148	91,99
10	U-1000 R2V XV 4x50	524765	1538	105,63
11	U-1000 ARO2V 4x240	520215	2014	149,85
12	U-1000 5G35	517047	2116	97,15
13	U-1000 4x35	517480	5003	102,43
14	U-1000 1x150	512125	42276	99,11
15	U-1000 ARO2V 1x400	517641	5082	81,44
16	RV 1,8/3 kV 1x400K AL	520047	2050	81,28

## Anexo B 6 - Exemplo de cálculo

O exemplo de cálculo foi baseado nos resultados dos ensaios realizados ao cabo RHZ1-OL 12/20 1x150 (Cabo nº 1). Os valores que serviram de base aos exemplos de cálculo seguidamente apresentados, estão referidos na Tabela A 5.

### 1 – Cálculo do consumo específico (kgep/ton), (Cabo nº 1), (Tabela B 1).

Potência (kWh) = 316,88

Produção (kg) = 928,10

kWh =  $215 \times 10^{-6}$  tep

$$\text{Consumo específico } \left( \frac{\text{kg}}{\text{ton}} \right) = \frac{316,88 * 1000 * 215 * 10^{-6}}{\frac{928,10}{1000}} = 73,41$$

## 2 – Cálculo do custo específico (Euro/ton), (Cabo nº 1), (Tabela B 2).

Preço do kWh = 0,086842 Euro/ton (este valor corresponde á média dos primeiros três meses do ano, valores no Anexo G.

$$\text{Custo específico } \left( \frac{\text{Eur}}{\text{ton}} \right) = \frac{316,88 * 0,086842}{\frac{928,10}{1000}} = 29,65$$

## 3 – Cálculo do indicador de sobre consumos (%), (Cabo nº 1), (Tabela B 3).

$m_p$  (kg) = Quantidade prevista = 4281,16

$m_c$  (kg) = Quantidade consumida no fabrico = 4309,2

$$\text{Indicador de sobre consumos (\%)} = (m_c - m_p) * \frac{100}{m_p} \quad \text{Equação 3.1}$$

$$\text{Indicador de sobre consumo (\%)} = \frac{(4309,2 - 4281,16) * 100}{4281,16} = 0,66$$

## 4 – Cálculo do indicador desperdício em purgas (%), (Cabo nº 1), (Tabela B 4).

$m_{pu}$  (kg) = Quantidade de purgas = 100,7

$m_c$  (kg) = Quantidade consumida no fabrico = 4309,2

$$\text{Indicador de desperdício em purgas (\%)} = m_{pu} * \frac{100}{m_c} \quad \text{Equação 3.2}$$

$$\text{Indicador de desperdício em purgas (\%)} = \frac{100,7 * 100}{4309,2} = 2,34$$

## 5 – Cálculo do indicador de velocidade (%), ou taxa de velocidade (Tv), (Cabo nº 1), (Tabela B 5).

$V_r$  (m/min) = Velocidade real

$V_p$  (m/min) = Velocidade prevista



$$\text{Indicador de velocidade (\%)} = V_r * \frac{100}{V_p} \quad \text{Equação 3.3}$$

$$\text{Indicador de velocidade (\%)} = 18,75 * \frac{100}{20} = 93,75$$

## Anexo C: Materiais

Neste anexo estão apresentados os resultados obtidos para a caracterização dos dois materiais habitualmente utilizados na extrusora principal da linha EP5, no revestimento exterior dos cabos, ou seja o PVC I2000 e a mistura 80% PE C-240 UV + 20% LDPE. São também ensaiados dois materiais alternativos o PVC ICI e o PE C-240 UV.

### Anexo C 1 – Variação do débito e da potência à medida que varia a temperatura do fundido.

Tabela C 1 Ensaios com o PVC ICI.

Temperaturas da extrusora principal (°C)							Temp <sup>a</sup> material fundido (°C)	Débito (kg/h)	Potência (kW)	Rotação (rpm)
60	85	90	95	100	100	100	97	496	70	15
60	115	120	125	130	130	130	130	504	67	15
60	145	150	155	160	160	160	147	506	64	15
60	160	165	170	175	180	180	160	507	63	15

Tabela C 2 Ensaios com o PVC I2000.

Temperaturas da extrusora principal (°C)							Temp <sup>a</sup> material fundido (°C)	Débito (kg/h)	Potência (kW)	Rotação (rpm)
60	85	90	95	100	100	100	126	451	71	15
60	115	120	125	130	130	130	142	445	58	15
60	145	150	155	160	160	160	151	447	51	15
60	160	165	170	175	180	180	168	451	49	15

Tabela C 3 Ensaios com o PE C-240 UV.

Temperaturas da extrusora principal (°C)							Temp <sup>a</sup> material fundido (°C)	Débito (kg/h)	Potência (kW)	Rotação (rpm)
60	135	140	145	150	150	150	154	284	90	15
60	155	160	165	170	170	170	170	285	84	15
60	175	180	185	190	190	190	176	287	80	15

Tabela C 4 Ensaio com o material mistura de 80% PE C-240 UV+ 20% LDPE.

Temperaturas da extrusora principal (°C)							Temp <sup>a</sup> material fundido (°C)	Débito (kg/h)	Potência (kW)	Rotação (rpm)
60	135	140	145	150	150	150	145	306	86	15
60	155	160	165	170	170	170	162	315	82	15
60	175	180	185	190	190	190	170	321	78	15

## Anexo C 2 – Variação da entalpia (kWh/kg) em função da temperatura do material fundido (°C)

Os valores apresentados nesta tabela estão representados graficamente na Figura 3.5.

Tabela C 5 Variação da entalpia do material fundido.

Material	Temp <sup>a</sup> Fundido (°C)	Débito (kg/h)	Entalpia (kW)	Entalpia á Temp <sup>a</sup> do material Fundido (kWh/kg))
PVC ICI	97	496	70	0,14113
	130	504	67	0,13294
	147	506	64	0,12648
	160	507	63	0,12426
PVC I2000	126	451	71	0,15743
	142	445	58	0,13034
	151	447	51	0,11409
	168	451	49	0,10865
PE C-240	154	284	90	0,31690
	170	285	84	0,29474
	176	287	80	0,27875
80% PE C-240 + 20% LDPE	145	306	86	0,28105
	162	315	81	0,25714
	170	321	78	0,24299

## Anexo D: Caracterização da extrusora auxiliar da linha EP5

Neste anexo são apresentadas as tabelas correspondentes a ensaios efectuados em dias diferentes, para caracterização da extrusora auxiliar da linha EP5. Em todos os ensaios a cabeça de dupla extrusão estava acoplada à extrusora, apenas se alterava o material de revestimento.

MA = 75% de PE 4423 + 5% PE LE 4476 + 20% LDPE

MB = PVC BEP

### Anexo D 1 – Ensaios efectuados com os materiais MA e MB.

#### Temperaturas da extrusora

As temperaturas utilizadas na extrusora auxiliar durante os ensaios, estão indicadas na Tabela D 1.

Tabela D 1 Temperaturas da extrusora auxiliar (MA e MB).

Material	Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C
MA	168,5	169,4	174,4	188,5	186,0	165,5
MB	136,4	149,1	154,9	153,7	160,0	134,5

#### Variação do débito, do $\cos\varphi$ e da potência, em função da variação do fuso da extrusora auxiliar

Os valores obtidos referentes à variação do débito, do  $\cos\varphi$  e da potência a diferentes rotações do fuso, considerando os materiais MA e MB estão indicados na Tabela D 2 e estão representados nas Figuras 3.6, 3.7 e 3.8.

Tabela D 2 Variação do débito,  $\cos\varphi$  e da potência em função da variação da rotação do fuso.

Material	Rotação do fuso (rpm)	Débito (kg/min)	$\cos\varphi$	U (V)	Intensidade (A)	Potência (kW)
MA	30	2,1	0,333	399	106	24,39
	50	3,6	0,687	401	180	85,89
	75	5,2	0,821	400	207	117,74
	110	7,4	0,883	400	210	128,47
MB	35	5,3	0,369	399	141	35,96
	60	8,0	0,529	401	162	59,52
	90	11,8	0,724	400	170	85,27
	110	13,4	0,843	400	189	110,38

O exemplo de cálculo da potência não é aqui apresentado, uma vez que apenas se calculou o valor da potência consumida, correspondente à extrusora, cujo cálculo é feito usando a Equação 2.2, e foi referido no Anexo A 17.

## Anexo E: Caracterização da extrusora principal da linha EP5

Neste anexo são apresentadas as tabelas correspondentes a ensaios efectuados em dias diferentes, para caracterização da extrusora principal da linha EP5. Os ensaios com o material PVC I2000 foram efectuados com a cabeça de dupla extrusão acoplada e com a cabeça de extrusão simples acoplada. Os ensaios efectuados com o material mistura de 80% PE C-240 +20% LDPE foram apenas efectuados com a cabeça simples de extrusão acoplada.

MC = PVC I2000 + cabeça de dupla extrusão acoplada

MD = PVC I2000 + cabeça simples de extrusão acoplada

ME = Mistura de 80% PE C-240 + 20% LDPE + cabeça simples de extrusão acoplada

### Anexo E 1 – Ensaios efectuados com os materiais MC, MD e ME.

#### Temperaturas da extrusora

As temperaturas utilizadas na extrusora principal durante os ensaios, utilizando os materiais referenciados como MC, MD e ME estão indicadas na Tabela E 1.

Tabela E 1 Temperaturas da extrusora principal (MC, MD e ME).

Material	Zona1 °C	Zona2 °C	Zona3 °C	Zona4 °C	Zona5 °C	Zona6 °C	Coleira °C	Cab1 °C	Cab2 °C	Cab3 °C
MC	156,7	156,4	161,7	163,9	163,5	169,0	170,2	141,8	169,0	164,8
MD	157,0	176,4	171,3	168,7	173,0	170,6	170,4	135,4	171,2	165,4
ME	165,4	176,5	190,0	197,2	203,1	210,7	210,3	169,7	200,1	201,4

#### Variação do débito, do $\cos\phi$ e da potência em função da variação da rotação do fuso, para os materiais MC, MD e ME.

Os valores obtidos referentes à variação do débito, do  $\cos\phi$  e da potência a diferentes rotações do fuso, considerando os materiais MC, MD e ME, estão indicados na Tabela E 2 e estão representados nas Figuras 3.9, 3.10 e 3.11.

Tabela E 2 Variação do débito, do  $\cos\phi$  e da potência em função da rotação do fuso

Material	Rotação do fuso (rpm)	Débito (kg/min)	$\cos\phi$	U (V)	Intensidade (A)	Potência (kW)
MC	10,1	5,7	0,310	401	257	55,33
	25,1	13,6	0,467	399	369	119,09
	45,4	18,6	0,694	400	393	188,96
MD	5,1	2,8	0,202	400	205	28,69
	15,0	8,4	0,317	398	280	61,19
	25,2	13,0	0,450	396	336	103,71
	40,1	17,0	0,606	398	346	144,54
ME	4,7	1,6	0,257	395	222	39,03
	10,3	3,4	0,330	394	302	68,01
	15,0	5,1	0,369	393	361	90,67
	23,7	7,8	0,458	393	411	128,13

## Anexo F: Perdas térmicas

Neste anexo vão ser apresentadas as tabelas referentes aos valores calculados para as perdas térmicas da extrusora principal da linha EP5 e das perdas térmicas da caleira de água quente da linha em estudo.

É também apresentado o exemplo de cálculo.

### Anexo F 1 – Cálculo das perdas térmicas da extrusora principal da linha EP5

Perdas totais (W) = Calor perdido por convecção sobre uma placa vertical (2 lados) + Calor perdido por convecção sobre uma placa horizontal + Calor perdido por radiação.

#### Dados

Na Tabela F 1 estão indicados todos os dados referentes ao aquecimento da extrusora principal da linha EP5, dados relativos às dimensões da blindagem e das resistências e os valores de temperatura médios calculados.

**Tabela F 1 Dados técnicos da extrusora principal**

Potência das resistências instaladas (kW)	12
Quantidade de resistências	6
Comprimento da câmara (m)	3,025
T1 médio (K)	437,6
T2 médio (K)	352,9
T3 médio (K)	324,2
Potência máxima das resistências HK 212 (W/cm <sup>2</sup> )	7,0
Temperatura ambiente (K)	296,0
Raio 1 – raio interno da resistência (m)	0,250
Raio 2 – raio externo da resistência (m)	0,320
Comprimento de cada resistência (m)	0,450

#### Temperatura do interior da resistência

Na Tabela F 2 estão indicados todos os valores medidos, referentes à temperatura interior da resistência que conduziram à determinação do T1 médio.



Tabela F 2 Temperatura do interior da resistência – T1.

Temperaturas	Zona1 (°C)	Zona2 (°C)	Zona3 (°C)	Zona4 (°C)	Zona5 (°C)	Zona6 (°C)	T1 médio (°C)
T1	154,4	159,3	165,1	165,6	170,3	169,7	164,1
T1	153,8	160,2	165,9	165,3	170,6	170,3	164,4
T1	156,9	161,3	166,1	165,7	171,0	170,5	165,3

### Temperatura do exterior da resistência

Na Tabela F 3 estão indicados todos os valores medidos, referentes à temperatura exterior da resistência que conduziram à determinação do T2 médio.

Tabela F 3 Temperatura do exterior da resistência – T2.

Temperaturas	Zona1 (°C)	Zona2 (°C)	Zona3 (°C)	Zona4 (°C)	Zona5 (°C)	Zona6 (°C)	T2 médio (°C)
T2	74	74	86	86	88	75	80,5
T2	75	71	81	85	85	76	78,8
T2	71	69	81	86	88	87	80,3

### Temperatura do exterior da Blindagem

Na Tabela F 4 estão indicados todos os valores medidos, referentes à temperatura exterior da blindagem que conduziram à determinação do T3 médio.

Tabela F 4 Temperatura do exterior da blindagem – T3.

Temperaturas	Zona1 (°C)	Zona2 (°C)	Zona3 (°C)	Zona4 (°C)	Zona5 (°C)	Zona6 (°C)	T3 médio (°C)
T3	43	41	41	52	55	61	48,8
T3	52	48	47	54	62	63	54,3
T3	47	43	42	54	57	60	50,5

### Perdas por convecção natural sobre uma placa vertical e sobre uma placa horizontal

Para o cálculo das perdas de calor por convecção usa-se a Equação 2.14, para determinar o coeficiente de convecção e a Equação 2.15, para calcular o calor perdido.

As propriedades do ar devem ser avaliadas à temperatura do filme, média entre a temperatura da superfície e a temperatura do ar (298 K).

As Tabelas que se apresentam de seguida dizem respeito a uma placa vertical com L igual a 0,535 m, e uma placa horizontal com L igual a 1,8 m.

Na Tabela F 5 estão indicados as propriedades físicas referentes ao ar para uma temperatura de 311,1 K.

**Tabela F 5 Propriedades físicas do ar a 311,1 K (Geankoplis, 1993)**

$T_f$ (K)	311,1
$\beta$ (1/K)	0,00322
$\nu$ (m <sup>2</sup> /s)	0,0000203
Pr	0,705
k (W/m K)	0,0270

Na Tabela F 6 estão os valores que foram considerados no cálculo das perdas por convecção natural.

**Tabela F 6 Cálculo das perdas por convecção natural sobre uma placa vertical e horizontal.**

Geometria	$GrL \cdot Pr$	c	n	$Nu_m$	$h_m$ (W/m <sup>2</sup> K)	A (m <sup>2</sup> )	qconv (W)
Placa vertical L = 0,535 m	2,17E+08	0,59	0,25	71,5903	3,6	1,6	153,3
Placa horizontal L = 1,8 m	7,62E+09	0,14	0,333	275,4877	4,2	1,8	161,6

Na Tabela F 7 estão indicados os valores que foram considerados no cálculo das perdas por radiação.

**Tabela F 7 Cálculo das perdas por radiação.**

Área (m <sup>2</sup> )	4,7
Emissividade do ferro - $\epsilon_f$	0,23
$\sigma$ (W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> )	5,67E-08
T3 (K)	324,2
Tar (K)	298,0
qradiação (W)	193,5

### Cálculo das perdas totais

$$q_{\text{total}} (W) = 2 * \text{Perdas por convecção vertical} + \text{Perdas por convecção horizontal} + \text{Perdas por radiação}$$

Na Tabela F 8 estão indicados as perdas térmicas totais da extrusora principal da linha EP5.

**Tabela F 8 Perdas totais.**

qconvecção placa vertical (W)	153,3
qconvecção placa horizontal (W)	161,6
qradiação (W)	193,5
qtotal (W)	661,7

### Anexo F 2 - Potência fornecida para aquecimento da água que se encontra no depósito da linha EP5

Na Tabela F 9 estão indicadas as dimensões do tanque e das tubagens responsáveis pelo transporte do fluido.

**Tabela F 9 Dimensões do depósito de água.**

Altura total (m)	0,700
Altura útil (m)	0,630
Comprimento (m)	1,000
Largura (m)	0,595
Volume de água (m <sup>3</sup> )	0,375
Diâmetro do tubo de água fria à entrada (m)	0,024
Diâmetro do tubo água quente à entrada (m)	0,047
Diâmetro do tubo água quente à saída (m)	0,024

### Aquecimento da água que se encontra no depósito

O aquecimento da água no tanque é feito com 7 resistências em paralelo, cada resistência de 7 A ligadas a 230 V. Na Tabela F 10 estão registados os tempos de

aquecimento para as diferentes situações de ensaio, em que a variável monitorizada era a temperatura final e os valores respectivos de energia consumida.

**Tabela F 10 Dados técnicos do depósito de água, com uma potência instalada de 11,27 kW**

Tempo de aquecimento (min.)	116	104	93
Temperatura inicial (°C)	20	20	20
Temperatura final (°C)	70	65	60
Energia consumida (kWh)	21,79	19,53	17,47

### **Anexo F 3 – Cálculo das perdas térmicas na caleira de água quente na linha EP5**

#### **Caleira**

Na Tabela F 11 estão indicadas as dimensões da caleira de água quente da linha de extrusão EP5.

**Tabela F 11 Dimensões da caleira.**

Altura total (m)	0,270
Altura útil (m)	0,230
Comprimento (m)	3,150
Largura (m)	0,250
Área contacto com o ar (m <sup>2</sup> )	0,5375

#### **Funcionamento do sistema de transporte de água quente**

O transporte da água quente do tanque para a caleira efectua-se com uma bomba de 0,75 kW, e da caleira para o tanque efectua-se por gravidade. O nível do tanque de aquecimento é controlado por um sistema de bóia. O nível da caleira é mantido constante. O controlo de temperatura da água do tanque é efectuado por um controlador de temperatura tipo ON/OFF.

#### **Perdas por convecção natural sobre uma placa horizontal**

As propriedades físicas do ar a várias temperaturas do filme, considerando a temperatura do ar igual a 298 K, estão indicadas na tabela F 12.

Tabela F 12 Propriedades físicas do ar a várias temperaturas do filme

Temperatura da água (°C)	Tf (K)	$\beta(1/K)$	$\vartheta$ (m <sup>2</sup> /s)	Pr	k (W/m K)
70	318,0	0,0031	0,0000203	0,705	0,0270
65	315,5	0,0032	0,0000203	0,705	0,0270
60	313,0	0,0032	0,0000203	0,705	0,0270

Na Tabela F 13 estão os valores que foram considerados no cálculo das perdas por convecção natural sobre uma placa horizontal, para as três condições de ensaio.

Tabela F 13 Cálculo das perdas por convecção natural nas três condições de ensaio (L = 1,2 m)

Temperatura (°C)	GrL* Pr	c	n	Nu <sub>m</sub>	hm (W/m <sup>2</sup> K)	A (m <sup>2</sup> )	qconv (W)
70	4,10E+09	0,14	0,333	224,0675	5,0	0,5375	121,9
65	3,67E+09	0,14	0,333	216,0083	4,9	0,5375	104,5
60	3,24E+09	0,14	0,333	207,1532	4,7	0,5375	87,7

### Perdas por evaporação

As perdas por evaporação foram obtidas por leitura gráfica (Figura G 1) (Manual de Conservação de energia Lanifícios), para as três condições de ensaio. Na Tabela F 14 estão indicados os valores lidos relativamente às perdas por evaporação.

Tabela F 14 Cálculo das perdas por evaporação.

Temperaturas (°C)	Perdas (kJ*10 <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup> )	Perdas (kW/m <sup>2</sup> )	Perdas (kW)
70	17,25	62,10	33,38
65	13	46,80	25,16
60	10	36,00	19,35

## Anexo F 4 - Exemplo de cálculo

### 1 – Determinação das perdas térmicas da extrusora principal da Linha EP5

#### 1.1 – Cálculo do T1 médio (K), T2 médio (K) e T3 médio (K)

$$T1 \text{ médio (K)} = \frac{((164,1 + 273) + (164,4 + 273) + (165,3 + 273))}{3} = 437,6$$

$$T2 \text{ médio (K)} = \frac{((80,5 + 273) + (78,8 + 273) + (80,3 + 273))}{3} = 352,9$$

$$T3 \text{ médio (K)} = \frac{((48,8 + 273) + (54,3 + 273) + (50,5 + 273))}{3} = 324,2$$

1.2 – Cálculos das perdas por convecção natural sobre uma placa vertical, utilizando as propriedades do ar à temperatura do filme, valores apresentados na Tabela F 5, obtêm-se:

1.2.1 – Cálculo do número de Grashoff ( $Gr_L$ )

$g \text{ (m/s}^2\text{)} = \text{Aceleração da gravidade} = 9,8$

$$T_f \text{ (K)} = \frac{324,2 + 298}{2} = 311,1$$

$$\beta \left( \frac{1}{K} \right) = 0,00322 \text{ (Geankoplis, 1993)}$$

$L \text{ (m)} = 0,535$

$T_3 \text{ (K)} = 324,2$

$T_{ar} \text{ (K)} = 298$

$\vartheta \text{ (m}^2\text{/s)} = 0,0000203$

$$Gr_L = \frac{g * \beta * (T_{\infty} - T_w) * L^3}{\vartheta^2} \quad \text{Equação 2.13}$$

$$Gr_L = \frac{9,8 * 0,0032 * (324,2 - 298) * 0,535^3}{0,0000203^2} = 3,07 * 10^8$$

1.2.2 – Cálculo do número de Nusselt,  $h_m$  e  $q_{conv}$

$$Gr_L * Pr = 3,07 * 10^8 * 0,705 = 2,17 * 10^8$$

$c = 0,59 \text{ (Geankoplis, 1993)}$

$n = 0,25 \text{ (Geankoplis, 1993)}$

$$Nu_m = c * (Gr_L * Pr)^n \quad \text{Equação 2.12}$$

$$Nu_m = 0,59 * (3,07 * 10^8 * 0,705)^{0,25} = 71,5903$$

$$Nu_m = \frac{h_m * L}{k} \quad \text{Equação 2.14}$$

Então:

$$h_m \left( \frac{W}{m^2 K} \right) = \frac{71,5903 * 0,0270}{0,535} = 3,6$$

$$q_{conv} = h_m * A * \Delta T \quad \text{Equação 2.15}$$

Com  $A = 1,6 \text{ m}^2$  obtêm-se:

$$q_{conv} \text{ placa vertical (W)} = 3,6 * 1,6 * (324,2 - 298) = 153,3$$

### 1.3 – Cálculo das perdas por convecção natural sobre uma placa horizontal

O processo de cálculo é o mesmo que foi apresentado no ponto anterior, apenas se muda a dimensão característica. Nas correlações usadas, para placas rectangulares o  $L$  considerado, é a média aritmética dos lados do rectângulo.

$$L (m) = \frac{0,48 + 3,025}{2} = 1,8$$

### 1.4 – Cálculo das perdas por radiação

$$\text{Área (m}^2\text{)} = 4,7$$

$$\text{Emissividade do ferro } (\epsilon_f) = 0,23$$

$$\sigma \text{ (W/m}^2\text{K}^4\text{)} = 5,67 * 10^{-8}$$

$$T_3 \text{ (K)} = 324,2$$

$$T_{ar} \text{ (K)} = 298$$

$$q_{rad} = A * \epsilon * \sigma * (T_w^4 - T_{\infty}^4) \quad \text{Equação 2.16}$$

$$q_{rad} \text{ (W)} = 4,7 * 0,23 * 5,67 * 10^{-8} * (324,2^4 - 298^4) = 193,5$$

1.5 – Cálculo das perdas totais

$q_{\text{total}} (W) = 2 * \text{Perdas por convecção vertical} + \text{Perdas convecção horizontal} + \text{Perdas por radiação}$

$$q_{\text{total}} (W) = 2 * 153,3 + 161,6 + 193,5 = 661,7$$

**2 – Potência fornecida para aquecimento da água que se encontra no depósito da EP5**

2.1 – Cálculo da potência instalada

Número de resistências = 7

Intensidade de cada resistência (A) = 7

Diferença de potencial (V) = 230

$$\text{Potência instalada (kW)} = \frac{7 * 7 * 230}{1000} = 11,27$$

2.2 – Cálculo da energia consumida (kWh)

Potência instalada (kW) = 11,27

Tempo de aquecimento (min) = 116

Temperatura inicial (°C) = 20

Temperatura final (°C) = 70

$$\text{Energia consumida (kWh)} = 11,27 * \frac{116}{60} = 21,79$$

2.3 – Cálculo da área em contacto com o ar

Comprimento (m) = 2,150

Largura (m) = 0,250

$$\text{Área (m}^2\text{)} = 2,150 * 0,250 = 0,5375$$

2.4 – Cálculo das perdas por evaporação

Temperatura (°C) = 70

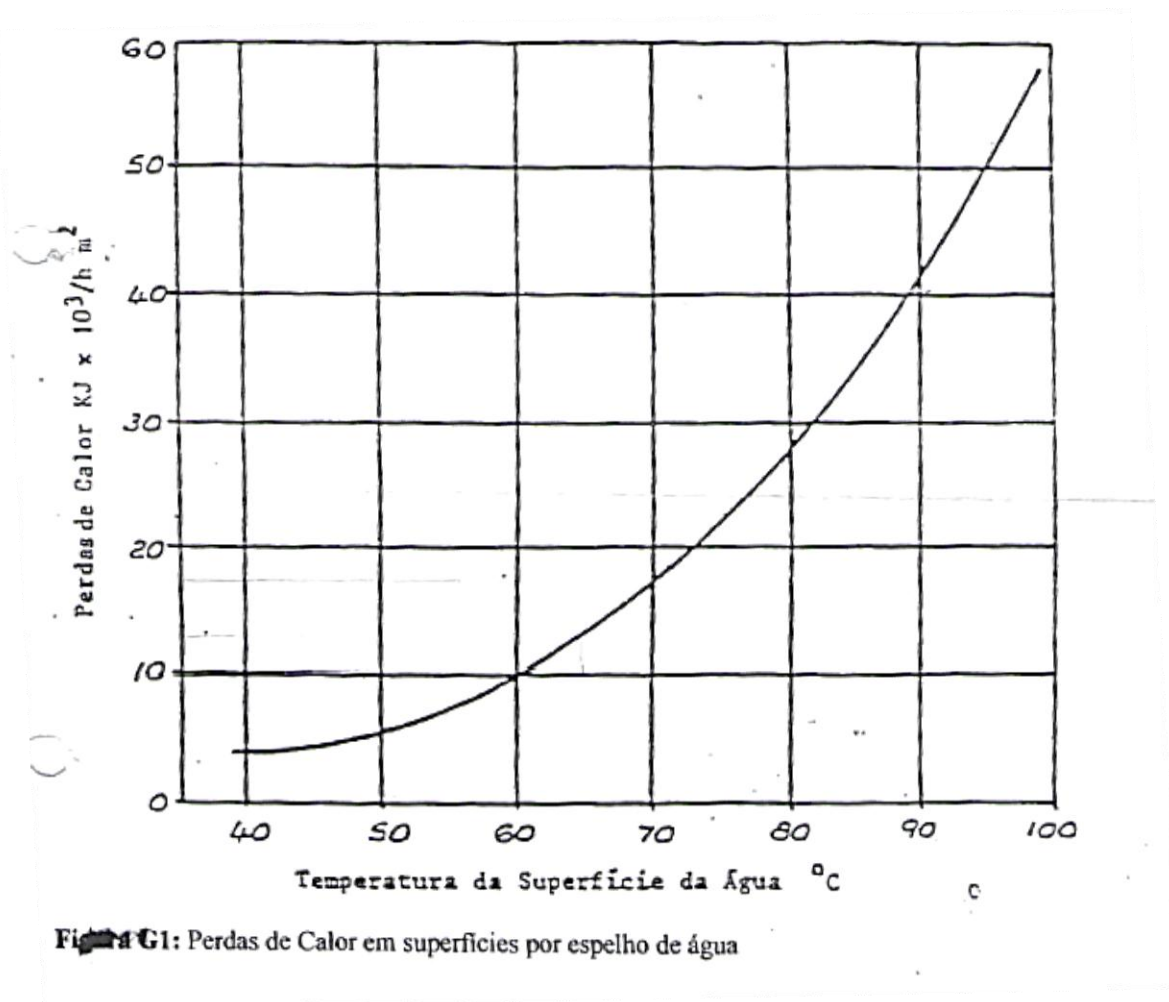


$$\text{Perdas} \left( \text{kJ} \cdot \frac{10^3}{\text{h} \cdot \text{m}^2} \right) = 17,25 \text{ (Manual de Conservação de energia Lanifícios) [7]}$$

$$\text{Perdas} \left( \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \right) = \frac{17,25 \cdot 1000}{3600} = 4,79$$

$$\text{Área (m}^2\text{)} = 0,5375$$

$$\text{Perdas (kW)} = 4,79 \cdot 0,5375 = 2,58$$



(Manual de Conservação de energia Lanifícios)

## Anexo G: Optimização

Neste anexo estão indicados todos os valores medidos e calculados, que foram apresentados no capítulo 4.

### Anexo G 1 Energia consumida na linha EP5

São foi considerada a extrusora principal, porque é a extrusora utilizada em todos os fabricos, e porque está ligada ao quadro principal da linha, e portanto a ser monitorizada pelo equipamento de medição marca Shneider Electric modelo PM810.

A extrusora auxiliar tem um quadro próprio e não tem equipamento de medição associado, de forma a estar a ser continuamente monitorizada. Foram no entanto efectuados alguns ensaios onde se utilizou um fasímetro de marca Unit, referência LT-PINAMP/3, de forma a ser possível a determinação do factor de potência referente à extrusora auxiliar.

Na Tabela G 1 estão indicados todos os componentes ligados ao quadro da linha EP5, e respectiva potência.

**Tabela G 1 Componentes da linha EP5 e respectiva potência.**

<b>Componentes da linha EP5</b>	<b>Potência (kW)</b>
Desenrolador fixo	7,4
Desenrolador móvel	18,7
Lagarta de entrada	11
Bombas de vácuo	11,2
Soprador	3
Extrusora principal	268
Lagarta de saída	11
Enrolador móvel	18,7
Enrolador fixo	23,15
Total	372,15

### Consumo total de toda a unidade Cabelte

Na Tabela G 2 estão indicados os consumos globais da Cabelte, considerando os primeiros três meses do ano e o valor médio calculado para o preço do kWh. (Factura de energia, 2011)

**Tabela G 2 Consumo total da unidade Cabelte.**

Mês	Consumo mensal (kWh)	Euro / kWh
Janeiro	1191372	0,087346
Fevereiro	1170830	0,086206
Março	1074695	0,086975
Valores médios	1145632	0,086842

### Consumo da linha EP5 e correcção do factor de potência

Na Tabela G 3 estão indicados os consumos da linha EP5 (excluindo extrusora auxiliar), considerando os primeiros três meses do ano.

**Tabela G 3 Consumo da linha EP5.**

Consumo mensal (kWh)	35741,3
Consumo mensal (%)	3,12
Custo anual (Euro/ano)	35694,4
Preço da energia reactiva (Euro/kVAh)	0,0362
CO <sub>2</sub> emitido por ano	193181,6

### Anexo G 2 Optimização do custo específico

Na Tabela G 4 estão indicadores os valores que serviram de base para a Figura 4.1.

**Tabela G 4 Custo específico dos cabos 1, 14, 15 e 16**

Dados	Cabo nº 1	Cabo nº 14	Cabo nº 15	Cabo nº 16
Produção (kg)	928,1	880,90	836,90	943,60
Energia consumida (kWh)	316,88	157,10	189,71	266,00
Custo específico (Euro/ton)	29,65	15,49	19,69	24,48
Custo específico (Euro/ton) – horário de verão	24,12	12,60	16,01	19,91
Ganho (%)	18,7			
Custo específico (Euro/ton) – horário de inverno	23,61	12,33	15,67	19,49
Ganho (%)	20,4			

## Anexo G 3 Perdas eléctricas

### Perdas dos condutores por Efeito Joule

Na Tabela G 5 estão indicados os valores que serviram de base para a Figura 4.4 (Factura de energia, 2011).

Tabela G 5 Perdas dos condutores por Efeito Joule.

Cabo nº	Auxiliar		Principal		Total		Euro / ano
	Perdas (W)	Perdas (kWh)	Perdas (W)	Perdas (kWh)	Perdas (W)	Perdas (kWh)	
1			590,7	4523,3	590,7	4253,3	369,4
2			398,0	2865,9	398,0	2865,9	248,9
3			395,8	2849,6	395,8	2849,6	247,5
4			505,4	3639,1	505,4	3639,1	316,0
5			498,5	3589,3	498,5	3589,3	311,7
6			415,2	2989,6	415,2	1989,6	295,6
7			437,7	3151,7	437,1	3151,7	273,7
8			388,4	2796,3	388,4	2796,3	242,8
9	399,2	2874,2	455,1	3276,9	854,3	6151,1	534,2
10	304,7	2193,8	459,9	3311,1	764,6	5505,0	478,1
11	438,1	3154,1	496,4	3574,2	934,5	6728,3	584,3
12	414,1	2981,2	460,4	3315,1	874,5	6296,3	546,8
13	389,0	2801,0	438,9	3159,8	827,9	5960,8	517,7
14	378,1	2722,1	407,0	2930,5	785,1	5652,6	490,9
15	395,6	2848,6	384,2	2766,5	779,9	5615,1	487,6
16	321,3	2312,9	367,5	2646,1	688,7	4958,9	430,7

### Determinação do factor de carga

Na Tabela G 6 estão indicados os valores medidos que deram origem ao cálculo do factor de carga, usando a Equação 2.6.

Tabela G 6 Determinação do factor de carga. O valor de  $P_n = 268 \text{ kW}$  e o  $\eta = 0,85$ .

Nº indicativo do cabo	U medido (V)	I medido (A)	$\cos\phi$ medido	Factor de carga
1	395,9	379	0,419	0,35
2	398,4	310,9	0,332	0,23
3	394,8	295,8	0,339	0,22
4	398,1	350,6	0,443	0,34
5	397,8	348,2	0,405	0,31
6	395,6	317,8	0,355	0,25
7	398,5	326,3	0,377	0,27
8	398,3	307,3	0,345	0,23
9	400,3	332,7	0,392	0,29
10	398,0	334,4	0,392	0,29
11	394,9	347,4	0,462	0,35
12	396,2	334,6	0,398	0,32
13	398,0	326,7	0,398	0,28
14	400,0	314,5	0,413	0,33
15	395,8	299,8	0,338	0,19
16	397,0	305,7	0,303	0,20
<b>Valores médios</b>	397,6	325,5	0,382	0,27

### Anexo 4 Exemplo de cálculo

#### 1 – Cálculo do custo específico e do consumo específico

Exemplo de cálculo já apresentado no Anexo B.

No cálculo dos custos específicos o preço de kWh utilizado foi considerando os períodos de laboração propostos e aplicando as taxas indicadas.

Período de 6ª feira desde as 12h 15 m até 2ª feira às 09h 15 m (verão) = 67 h

Período de 6ª feira desde as 21h 00 m até 2ª feira às 09h 30 m (inverno) = 60,5 h

Potência contratada = 0,0424 (Euro/kW) \*  $\left(\frac{67}{24}\right)$  = 0,118367 (Factura de energia, 2011)

IVA – PT Normal = 6% (Factura de energia, 2011)

Período	Caracterização	Preço (Euro/kWh)	Nº horas	Euro/kWh
Verão	Cheia	0,071673	19	0,07064273
	Vazio	0,063474	36	
	Super vazio	0,058328	12	
Inverno	Cheia	0,071673	12,5	0,06914753
	Vazio	0,063474	28	
	Super vazio	0,058328	20	

Horário de Verão (Euro/kWh) =  $\frac{(19 * 0,071673 + 36 * 0,063474 + 12 * 0,058328 + 0,118367) * 1,06}{67} = 0,07064273$

## 2 – Perdas dos condutores por efeito Joule

Os cálculos foram efectuados para o cabo nº 1

Dimensões dos cabos de ligação da extrusora auxiliar e principal ao PT.

Extrusora	Secção recta (mm <sup>2</sup> )	l (m)
Auxiliar	127,24	33,5
Principal	432,08	34

### 2.1 – Cálculo da resistência eléctrica dos condutores (R)

$\rho$  = Resistividade ( $\Omega * \text{mm}^2/\text{m}$ ) = 0,017421

s (mm<sup>2</sup>) = 432,08

l (m) = 34

$$R = \rho * \frac{l}{s} \quad \text{Equação 2.7}$$

$$R (\Omega) = 0,017421 * \frac{34}{432,08} = 0,0013708$$

### 2.2 – Cálculo das perdas por efeito Joule

De acordo com o valor apresentado na Tabela G 6,

I (A) = 379

$$P_P = 3 * R_{eq} * I^2 \quad \text{Equação 2.5}$$

$$P_P (W) = 3 * 0,0013708 * 379^2 = 590,7$$

### 2.3 – Cálculo da quantificação das perdas energéticas (Euro/ano)

Foram consideradas 24h por dia, 6 dias por semana e 50 semanas por ano.

$$\text{Perdas energéticas (kWh)} = \frac{590,7 * 24 * 6 * 50}{1000} = 4253,3$$

De acordo com o valor médio do kWh apresentado na Tabela G 2, obtêm-se

$$\text{Perdas energéticas (Euro/ano)} = 4253,3 * 0,086842 = 369,4$$

## 3 – Dimensionamento da bateria de condensadores

### 3.1 – Cálculo do preço da energia reactiva (Euro/kVArh) (Factura de energia, 2011)

	Euro/kVArh	Factor multiplicativo
Reactiva fora vazio	0,0193	3
Reactiva vazio	0,0145	1
Preço médio da Reactiva	0,0362	

$$\text{Preço médio (Euro/kVArh)} = \frac{(0,0193 * 3 + 0,0145 * 1)}{2} = 0,0362$$

### 3.2 Cálculo da potência reactiva (Q) (kVAr)

Tendo em atenção os valores médios apresentados na Tabela G 6,

$$U \text{ médio (V)} = 397,57$$

$$I \text{ médio (A)} = 325,45$$

$$\cos\phi \text{ médio} = 0,382$$

$$S = \sqrt{3} * U * I \quad \text{Equação 2.1}$$

$$S (VA) = \sqrt{3} * 397,57 * 325,45 = 224108,6$$

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi \quad \text{Equação 2.2}$$

$$P (W) = \sqrt{3} * 397,57 * 325,45 * 0,382 = 85609,5$$

$$Q^2 (VAr) = S^2 - P^2$$

$$Q (VAr) = \sqrt{224108,6^2 - 85609,5^2} = 207112,7$$

### 3.3 Cálculo da bateria de condensadores - Qc

De acordo com os valores apresentados na Tabela 4.1,

Potência total instalada (kW) = 372,15

Factor de correcção (f) = 2,143 (Cydesa, 2009)

Sendo a potência aparente, S = 224,11 kVA, obtêm-se:

$$\text{Taxa de utilização} = \frac{224,11}{372,15} = 0,6022$$

$$Qc (kVAr) = 372,15 * 2,143 * 0,6022 = 479,6 \text{ (Cydesa, 2009)}$$

### 3.4 Cálculo da redução de CO<sub>2</sub> pela instalação da bateria de condensadores

Estima-se que por cada kVAr instalado em condensadores evita-se por ano uma emissão equivalente a 25 kg de CO<sub>2</sub>. (Cydesa, 2009)

Qc (kVAr) = 500 (equipamento disponível no mercado) (Cydesa, 2009)

$$\text{Redução de CO}_2 \text{ emitido por ano (kg)} = 500 * 25 = 12500$$

### 3.5 Cálculo da quantidade de CO<sub>2</sub> emitido (kg) da linha EP5

O factor utilizado para a emissão de gases com efeito de estufa foi de 0,47 kgCO<sub>2</sub>e/kWh. (Citeve, 2009)

Consumo anual da linha EP5 (kWh) = 411024,8

$$\text{Emissão anual de CO}_2 \text{ (kg)} = 411024,8 * 0,47 = 193181,7$$

### 3.6 Cálculo da redução de CO<sub>2</sub> obtida pela instalação da bateria de condensadores



$$\text{Redução anual de CO}_2 (\%) = \frac{12500 * 100}{193181,7} = 6,5$$

#### 4 – Estimativa de carga do motor da extrusora principal

Os cálculos foram efectuados para o cabo nº 1

De acordo com a tabela G 6,

U medido (V) = 395,9

I medido (A) = 379

cosφ medido = 0,419

P<sub>n</sub> (kW) = 268

η (%) = 0,85

Obtêm-se:

$$FC = \eta * \sqrt{3} * U_{\text{medido}} * I_{\text{medido}} * \frac{\cos \varphi_{\text{medido}}}{P_n} \quad \text{Equação 2.6}$$

$$FC = 0,85 * \sqrt{3} * 395,9 * 379 * \frac{0,419}{268 * 1000} = 0,35$$

#### 5 – Quantificação das perdas térmicas (Euro/ano)

Considerações:

- Na extrusora principal o tempo de funcionamento considerado foi de 24h por dia, 6 dias por semana e 50 semanas
- No tanque de aquecimento o tempo de funcionamento considerado foi de 6h por dia, 2 dias por semana e 50 semanas.
- No caso da caleira de arrefecimento o tempo de funcionamento foi de 24h por dia, 2 dias por semana e 50 semanas.

A quantificação das perdas térmicas foram feitas de acordo com o exemplo de cálculo mencionado neste anexo no ponto 2.3 e considerando as premissas acima indicadas. O resultado obtido está indicado nas tabelas 4.2 e 4.3.

#### 5 – Cálculo do pay-back

Considerando uma taxa de mínima de rentabilidade igual a 10% e um pay-back máximo de 3 anos, verificar se o investimento é compensado pela economia (ganho) gerada durante “n” anos pelo investimento.

##### 5.1 – Cálculo do retorno de investimento para a tampa da caleira

Investimento (Euro) = 97 (Anexo H)

Ganho (Euro/ano) = 536,8 (Tabela 4.3)

Rentabilidade = 10%

$$97 = 536,8 * \left( \frac{(1+0,1)^n - 1}{0,1 * (1+0,1^n)} \right) \quad (\text{Assis, 2004})$$

$$n \text{ (anos)} = 0,19$$

$$n \text{ (meses)} = 2,28$$

5.2 – Cálculo do retorno de investimento para a bateria de condensadores

Investimento (Euro) = 12615 (Anexo H)

Ganho (Euro/ano) = 36175,3 (Tabela 4.1)

Rentabilidade = 10%

$$12615 = 36175,3 * \left( \frac{(1+0,1)^n - 1}{0,1 * (1+0,1^n)} \right) \quad (\text{Assis, 2004})$$

$$n \text{ (anos)} = 0,37$$

$$n \text{ (meses)} = 4,44$$

## Anexo H: Fichas técnicas e orçamentos

### Anexo H 1 - Fichas técnicas

Na figura H 1, está a ficha técnica das resistências utilizadas na extrusora principal da linha EP5.

HK 211 / HK 212 / HK 214

GB

**Application:**

Heating and cooling of cylinders on extruders.

**Construction:**

Outer casting made from aluminium alloy steel sheet or stainless steel sheet, with detachable cover for simple assembly. Mounting flange for cooling fan (see page 14). Specially designed internal air distribution channels and exhaust vents. Spacious terminal box for electrical connection. Available with bore holes, thermocouple bridges and cut outs provided that the measurements permit.

**Types:**

**HK 211:** with ceramic heater bands (KH 210) or mica heater bands (ZH 205).

**HK 212:** with ceramic heater bands (KH 210) or mica heater bands (ZH 205). A larger cooling surface can be obtained by special copper cooling fins of 60 and 90 mm width.

**Please ask for our detailed leaflets on this product!**

**HK 214:** with heater - bands (widths: 63 or 48 mm) made of high conductive special ceramic with integrated cooling fins on the backside for intensive air cooling. Suitable for high production temperature.

**Please ask for our detailed leaflets on this product!**

Netzspannung:	nach Vorgabe
Main supply:	as required
max T:	<b>Mikanit/Mica:</b> 350 °C <b>Keramik/Ceramic:</b> 420 °C <b>Aluminium:</b> 300 °C <b>Spezialkeramik:</b> 600 °C
ø min:	70,0 mm
B min:	100,0 mm
Heizleistung:	<b>HK 211:</b> max.: 7,0 W/cm <sup>2</sup>
Heating-power:	<b>HK 212:</b> max.: 7,0 W/cm <sup>2</sup>
	<b>HK 214:</b> max.: 7,0 W/cm <sup>2</sup>

Figura H 1 Resistências Wema Heaters HK212.

## Anexo H 2 – Orçamentos

Na Figura H 2, está o orçamento para a tampa da caleira da linha EP5.



ORÇAMENTO	
PARA:	DE:
Exma. Sr.ª Eng.ª Paula Vilela	Joaquim Santos
FIRMA:	DATA:
Cabelte S.A.	07/ 07/ 2011

Exmo. Sr.

Agradecendo desde já a atenção dispensada e em conformidade com as indicações recebidas, vimos apresentar a nossa melhor proposta para o eventual fornecimento de:

- 1 Tampo para Tina de Água em Aço Inox 2000 x 300 x 2 mm com duas dobradiças e uma pega;

Custo por unidade = 97.00€ + IVA

Sem outro assunto de momento, subscrevemo-nos com elevada estima e consideração.

M. Cumprimentos

Zona Industrial de Lavagueiras 4550-536 Pedorido – Castelo de Paiva  
Tel.255 762 964 Fax.255 762 675 \* Email – [jds.lda@gmail.com](mailto:jds.lda@gmail.com)

**Figura H 2 Orçamento para tampa para caleira da linha EP5.**

Na Figura H 3 está indicada a tabela de preços para os condensadores.

400V, 50Hz							
Potencia (Composición) Output (Composition)	Dimensiones Dimensions H x A x B	Peso Weight	Tipo Type	Precio Price	Suplemento interruptor Extra price for switch disconnecter		
kvar (400V) ⇔ kvar (440V)	mm	kg		€	Calibre Size A	Precio Price €	
400 (8x50)	484	2000x600x600	224 EG 400/400-8/8	9.625,00	1000	1.743,00	
400 (2x25+7x50)	484	2000x600x600	224 EG 400/400-9/16	9.663,00	1000	1.743,00	
425 (25+8x50)	514	2000x600x600	235 EG 400/425-9/17	10.195,00	(1)	(1)	
425 (25+8x50)	514	2000x1200x600	313 EG 400/425-9/17/A	10.539,00	1000	2.138,00	
450 (9x50)	545	2000x 600x600	237 EG 400/450-9/9	10.590,00	(1)	(1)	
450 (9x50)	545	2000x1200x600	316 EG 400/450-9/9/A	11.363,00	1000	2.138,00	
450 (2x25+8x50)	545	2000x600x600	238 EG 400/450-10/18	10.732,00	(1)	(1)	
450 (2x25+8x50)	545	2000x1200x600	316 EG 400/450-10/18/A	11.402,00	1000	2.138,00	
475 (25+9x50)	575	2000x1200x600	320 EG 400/475-10/19	12.200,00	1000	2.138,00	
500 (10x50)	605	2000x1200x600	323 EG 400/500-10/10	12.519,00	1250	2.410,00	
500 (2x25+9x50)	605	2000x1200x600	323 EG 400/500-11/20	12.615,00	1250	2.410,00	
525 (25+10x50)	635	2000x1200x600	336 EG 400/525-11/21	13.102,00	1250	2.410,00	
550 (11x50)	666	2000x1200x600	340 EG 400/550-11/11	13.303,00	1250	2.410,00	
575 (25+11x50)	696	2000x1200x600	343 EG 400/575-12/23	13.795,00	1250	2.410,00	
600 (12x50)	726	2000x1200x600	347 EG 400/600-12/12	13.834,00	1250	2.410,00	
625 (25+2x50+5x100)	756	2000x1200x600	356 EG 400/625-8/25	14.578,00	1600	2.653,00	
650 (50+6x100)	787	2000x1200x600	359 EG 400/650-7/13	14.770,00	1600	2.653,00	
675 (25+50+6x100)	817	2000x1200x600	363 EG 400/675-8/27	15.550,00	1600	2.653,00	
700 (2x50+6x100)	847	2000x1200x600	366 EG 400/700-8/14	15.746,00	1600	2.653,00	
725 (25+2x50+6x100)	877	2000x1200x600	369 EG 400/725-9/29	16.158,00	1600	2.653,00	
750 (50+7x100)	908	2000x1200x600	373 EG 400/750-8/15	16.666,00	1600	2.653,00	
775 (25+1x50+7x100)	938	2000x1200x600	376 EG 400/775-9/31	17.022,00	1600	2.653,00	
800 (2x50+7x100)	968	2000x1200x600	380 EG 400/800-9/16	17.190,00	(2)	(2)	
850 (50+8x100)	1029	2100x1200x600	398 EG 400/850-9/17	19.448,00	(2)	(2)	
900 (2x50+8x100)	1089	2100x1200x600	405 EG 400/900-10/18	19.247,00	(2)	(2)	
950 (50+9x100)	1150	2100x1200x600	412 EG 400/950-10/19	20.812,00	(2)	(2)	
1000 (2x50+9x100)	1210	2100x1200x600	419 EG 400/1000-11/20	21.502,00	(2)	(2)	

Figura H 3 Tabela de preços dos condensadores (Cydesa, 2009).